Министерство образования и науки Челябинской области

## Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение

# «Южно-Уральский государственный технический колледж»

**Методические рекомендации**

**к выполнению лабораторных работ**

*по междисциплинарному курсу МДК01.02*

*«Электрооборудование промышленных и гражданских зданий» профессионального модуля ПМ.01*

*«Организация и выполнение работ по эксплуатации и ремонту электроустановок»*

***часть 1***

для специальности 08.02.09

“Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования

промышленных и гражданских зданий”

ФП «ПРОФЕССИОНАЛИТЕТ»

Челябинск 2022

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Методические рекомендации составлены в соответствии с рабочей программой профессионального модуля ПМ.01 «Организация и выполнение работ по эксплуатации и ремонту электроустановок» | **ОДОБРЕНА**  Предметной (цикловой)  комис­сией  протокол №  от «\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2022 г.  Председатель ПЦК  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_С.А.Чиняева | **УТВЕРЖДАЮ**  Заместитель  директора по НМР  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Т.Ю.Крашакова  “\_\_\_”\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2022 г. |

## Составитель: Чиняева С.А. – преподаватель Южно-Уральского государственного технического колледжа

Согласовано: Абелев А.З. – технический директор ООО «ПО Южуралэлектромонтаж»

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |
| --- | --- |
| Пояснительная записка | 4 |
| Перечень лабораторных работ | 6 |
| Требования к содержанию отчета | 7 |
| Критерии оценки отчетных работ | 7 |
| Образец титульного листа | 8 |
| Правила техники безопасности при выполнении лабораторных  работ | 9 |
| **Работа №1.** Исследование преобразователя частоты | 10 |
| **Работа №2.** Элементы систем управления на базе операционного усилителя | 22 |
| **Работа №3.** Исследование автоматического воздушного выключателя | 27 |
| **Работа №4.** Исследование электромагнитного контактора | 30 |
| **Работа №5.** Исследование электромагнитного датчика времени | 33 |
| **Работа №6.** Исследование системы «тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока» | 36 |
| **Работа №7.** Исследование тормозных режимов работы двигателя постоянного тока | 42 |
| **Работа №8.** Исследование разомкнутой системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» | 49 |
| **Работа №9.** Исследование системы подчиненного регулирования с внешним контуром скорости | 56 |
| **Работа №10.** Исследование системы подчиненного регулирования с внешним контуром напряжения | 70 |
| **Работа №11.** Исследование системы подчиненного регулирования «источник тока – двигатель» | 83 |
| **Работа №12.** Исследование замкнутой системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» | 93 |
| Приложение А | 102 |
| Приложение Б | 105 |
| Приложение В | 106 |
| Приложение Г | 107 |
| Приложение Д | 109 |
| Список литературы | 110 |

**Пояснительная записка**

Методические рекомендации предназначены для выполнения лабораторных работ по МДК01.02 «Электрооборудование промышленных и гражданских зданий» темам: 2.1 Электрические аппараты; 2.2 Системы автоматизированного управления электроприводом.

Целью проведения лабораторных работ является подтверждение, закрепление теоретического материала и приобретение навыков по сборке электрических схем, включающих в себя электрические машины, силовые полупроводниковые преобразователи, пускорегулирующую аппаратуру, измерительные устройства.

В учебном пособии дан перечень лабораторных работ по соответствующим темам, содержание и порядок выполнения лабораторных работ, контрольные вопросы по каждой лабораторной работе.

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения для базового уровня подготовки для работы в аудитории.

Пособие подготовлено в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования и рабочей программы профессионального модуля ПМ.01. Темы лабораторных работ представлены в соответствии с порядком их изучения в теоретическом блоке МДК01.02 и позволяют сформировать профессиональные компетенции:

- ПК1 «Организовывать и осуществлять эксплуатацию электроустановок промышленных и гражданских зданий»;

- ПК2 «Организовывать и производить работы по выявлению неисправностей электроустановок промышленных и гражданских зданий»;

- ПК3 «Организовывать и производить ремонт электроустановок промышленных и гражданских зданий».

Количество учебных часов соответствует рабочей программе базового уровня подготовки и представлено в перечне лабораторных работ.

Преподавание дисциплины имеет практическую направленность и проводится в тесной взаимосвязи с дисциплинами профессионального цикла: электротехника, основы электроники, техническая механика; и междисциплинарными курсами: МДК01.01 Электрические машины.

В результате изучения студент должен:

* знать назначение, устройство и принцип действия электрических аппаратов, их характеристики и особенности включения в схемы управления электрооборудованием; принципы построения схем управления электрооборудованием;
* уметь собирать типовые электрические схемы управления электрооборудованием, подключать электрические аппараты, измерительные приборы в различные участки схемы, производить различные переключения в схемах.

**Перечень лабораторных работ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Название работы | Количество часов |
| 1 | Исследование преобразователя частоты | 4 |
| 2 | Элементы систем управления на базе операционного усилителя | 4 |
| 3 | Исследование автоматического воздушного выключателя | 2 |
| 4 | Исследование электромагнитного контактора | 2 |
| 5 | Исследование электромагнитного датчика времени | 2 |
| 6 | Исследование системы «тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока» | 4 |
| 7 | Исследование тормозных режимов работы двигателя постоянного тока | 2 |
| 8 | Исследование разомкнутой системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» | 4 |
| 9 | Исследование системы подчиненного регулирования с внешним контуром скорости | 4 |
| 10 | Исследование системы подчиненного регулирования с внешним контуром напряжения | 4 |
| 11 | Исследование системы подчиненного регулирования «источник тока – двигатель» | 4 |
| 12 | Исследование замкнутой системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» | 4 |
|  | Итого | 40 |

**Требования к содержанию отчета**

Каждая отчетная работа должна содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Схемы опытов.
4. Необходимые формулы и расчеты.
5. Таблицы с результатами замеров и расчетов.
6. Графики и диаграммы, построенные по результатам замеров и расчетов, если это требуется по заданию.
7. Ответы на контрольные вопросы.
8. Выводы по работе.

Схемы вычерчиваются в соответствии с требованиями ГОСТ с помощью условных обозначений на листах формата А4. Графическая часть отчета (схемы, таблицы, графики) выполняются карандашом с применением чертежных инструментов. Отчет можно выполнять в рукописном варианте или с применением ПК.

**Критерии оценки отчетных работ**

|  |  |
| --- | --- |
| Критерии | Оценка |
| Графическая часть работы выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ, приведены порядок расчетов и результаты расчетов в таблицах, построены все графики, указаны единицы измерения | Отлично |
| Графическая часть работы выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ, порядок расчетов приведен не полностью, результаты расчетов в таблицах присутствуют, построены все графики, указаны не все единицы измерения | Хорошо |
| Графическая часть работы выполнена не в соответствии с требованиями ГОСТ, не приведен порядок расчетов, только результаты расчетов в таблицах, построены все графики, не указаны единицы измерения | удовлетворительно |

*Министерство образования и науки Челябинской области*

## *Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение*

## Южно-Уральский государственный технический колледж

##### ОТЧЕТ

*По лабораторным работам*

*междисциплинарного курса МДК01.02*

*«Электрооборудование промышленных и гражданских зданий»*

*профессионального модуля ПМ.01 «Организация и выполнение работ по эксплуатации и ремонту электроустановок»*

***часть 1***

### специальность 08.02.09

### «Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования

### промышленных и гражданских зданий»

###### 

###### Выполнил: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Группа: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

###### Проверил: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Челябинск 201\_г.

**Правила техники безопасности при выполнении**

**лабораторных работ:**

• студент, находясь в лаборатории, должен **быть**  **предельно дисциплинированным и внимательным**; находиться непосредственно у исследуемой лабораторной установки;

1. **запрещается** подходить к другим установкам, распределительным щитам и пультам и делать на них какие-либо включения или переключения; включать схему под напряжение, если кто-нибудь касается ее неизолированной токоведущей части; производить какие-либо пересоединения в схеме, находящейся под напряжением; во время работы электрической машины касаться вращающихся частей или наклоняться к ним близко; оставлять без наблюдения лабораторную установку или отдельные приборы под напряжением;
2. при перемещениях движков и рукояток пускорегулирующей аппаратуры **необходимо следить** за тем, чтобы рука была в соприкосновении только с изолированной рукояткой;
3. **одежда** студента **не должна** иметь свободно свисающих концов шарфов, косынок, галстуков и т. п., а прическа или головной убор должны исключать возможность «свисания» прядей волос.

**Работа №1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ UNIDRIVE SP1401**

**Цель работы:**

Приобретение навыков работы с преобразователем частоты Unidrive SP1401. Изучение способов управления, контроля параметров привода. Компенсация момента двигателя.

В результате выполнения работы студент должен:

**знать**-принцип работы с преобразователем частоты;

**уметь** – настраивать преобразователь частоты для работы с двигателем.

**Пояснения к работе**

Исследуемый асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором входит в состав электромашинного агрегата, включающего в себя собственно исследуемый двигатель М1, нагрузочную машину – двигатель постоянного тока независимого возбуждения– М2, импульсный датчик скорости М3.

Перед проведением работы при выключенном автомате QF1 МПС привести модули в исходное состояние:

– переключатель SA1 модуля ПЧ перевести в среднее положение, SA3 – в положение «0», потенциометр RP1 – в крайнее положение против часовой стрелки, установить перемычку между клеммами XS1 и XS2 модуля.

Схема для исследования ПЧ приведена на рисунке 1.1.

Асинхронный электродвигатель подключается к преобразователю частоты ПЧ через датчики тока и напряжения.

Собственно преобразователь частоты запитывается напряжением 3x380В от модуля питания.

Для проведения работы на персональном компьютере должно быть загружено ПО Labdrive и соответствующая лабораторная работа.

Описание работы с ПО Labdrive и LabShow приведено в приложениях Г, Д.



Рисунок 1.1 – Схема для снятия характеристик системы ПЧ-АД

**Ход работы:**

1. Изучить принципы работы с модулем преобразователя частоты **Unidrive SP1401.**

Преобразователь частоты (ПЧ) обеспечивает преобразование переменного напряжения 3х380В в трехфазное напряжение с регулируемыми значениями напряжения и частоты. GX содержит неуправляемый выпрямитель и автономный инвертор и обеспечивает регулирование частоты вращения асинхронного двигателя при постоянном потоке U/f=const.

Модуль преобразователя частоты (рисунок 1.2) содержит:

– преобразователь частоты UNI1401SP с двухстрочным дисплеем и кнопками ввода параметров;

– силовые клеммы подачи трехфазного входного напряжения A, B и C и снятия выходного напряжения A1, B1 и C1;

– силовые клеммы высокого напряжения постоянного тока: «+» и «-»;

– клеммы маломощных аналоговых сигналов управления преобразователя (XS2 – Вход 1, XS3 – Вход 2);

– клеммы XS5 и XS6 выходных аналоговых сигналов, пропорциональных соответственно частоте вращения и моменту асинхронного двигателя;

– потенциометр аналогового сигнала задания RP1;

– кнопку SB1 «Сброс» для сброса ошибки;

– переключатели SA1 (направления вращения), SA2 (выбора управления «Скорость» и «Момент») и SA3 (подачи разрешения на работу);

– разъем ДС для подключения импульсного датчика скорости при получении замкнутой системы.



Рисунок 1.2. Модуль преобразователя частоты

Настройка ПЧ осуществляется с помощью пульта управления (кнопочной панели преобразователя) или от персонального компьютера с помощью программного обеспечения.

Пульт управления преобразователя (рисунок 1.3) включает в себя дисплей и кнопки управления.



Разъем RJ45 для подключения ПК

Стоп/Сброс (красная)

Пуск (зеленая)

Вперед/Назад (синяя)

**Кнопки управления**

Верхняя строка

Режим (черная)

Клавиша навигации

Нижняя строка

Рисунок 1.3. Пульт управления преобразователя частоты UNIDRIVE SP

*Кнопки лицевой панели:*

– навигационная клавиша используется для навигации по структуре параметров и для изменения значений параметров;

– кнопка режима используется для изменения режима дисплея – просмотр параметра, редактирование параметра, состояние;

– три управляющие кнопки используются для управления приводом, если выбран режим панели.

*Установка заводских настроек*

Перед началом работы с частотным преобразователем необходимо сбросить все настройки на заводские и занести каталожные данные двигателя.

Для сброса настроек на заводские необходимо:

– переключатель SA3 установить в значение «0»;

– переключатель SA1 установить в среднее положение;

– подать напряжение питания на преобразователь. По прошествии нескольких секунд на дисплее преобразователя отображается информация о текущем режиме работы;

– навигационной клавишей (кнопки , ) вызвать на индикацию параметр 0.00;

– выбрать параметр 0.00 нажатием клавиши ;

– ввести значение 1233 и запомнить значение нажатием клавиши ;

– нажать кнопку (стоп/сброс) – параметр 0.00 сбросится в «0». Это означает, что все параметры ПЧ сбросились на заводские настройки.

Подробное описание параметра 0.00 дается в руководстве пользователя преобразователя частоты.

*Установка каталожных параметров двигателя*

Перед началом работы ПЧ необходимо занести в ПЧ номинальных данных электродвигателя. Для этого:

– установить в параметре 0.42 число полюсов двигателя;

– установить в параметре 0.43 коэффициент мощности двигателя (должен быть отличен от нуля);

– установить в параметре 0.44 номинальное напряжение двигателя, В;

– установить в параметре 0.45 номинальную частоту вращения двигателя, об/мин;

– установить в параметре 0.46 номинальную частоту питающего двигатель напряжения, Гц.

– произвести самонастройку привода. Для этого:

а) Установить в параметре 0.40 значение 2.

б) Подать разрешение на работу ПЧ (SA3 в положение «1»);

в) Установить направление вращения двигателя (SA1) – двигатель совершит несколько оборотов и остановится. Если настройка прошла успешно, параметр 0.40 сбросится в «0».

В данном лабораторном стенде преобразователь частоты используется в двух основных режимах:

– режим регулирования скорости;

– режим регулирования момента;

***Режим регулирования скорости***

В режиме регулирования скорости преобразователь поддерживает заданную частоту вращения электродвигателя. Данный режим включается после сброса настроек на заводские и занесения номинальных данных электродвигателя.

В таблице 1.1 приведены изменяемые параметры режима регулирования по скорости.

Таблица 1.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметр | Наименование | Значение |
| 0.44 | Максимально выходное напряжение, В | 380/220 |
| 0.02 | Максимально выходная частота, Гц | 50/60 |
| 5.27 | Компенсация скольжения | 0 |

***Режим регулирования момента***

В режиме регулирования момента двигатель работает в качестве источника активного момента, задаваемого преобразователем частоты.

Для переведения ПЧ в режим регулирования момента необходимо:

– установить тумблер SA3 в положение «0»;

– установить переключатель SA2 в положение «Момент»;

– перевести преобразователь частоты в замкнутую систему.

Для переведения ПЧ в данный режим необходимо:

– в параметре 0.00 вести значение 1233 (сброс параметров ПЧ на заводские настройки);

– установить переключатель SA3 «Разрешение» в положении 0;

– установить значение параметра 0.00 на 1253 (разрешение на изменение работы преобразователя);

– установить значение параметра 0.48 на CL.VECT (выбор режима работы преобразователя как замкнутой системы);

– нажать кнопку «Стоп-Сброс»;

– ввести паспортные данные исследуемого асинхронного электродвигателя (параметры 0.42–0.47);

– занести в параметр 0.49 значение L2 (разрешение просмотра всех параметров);

– нажать кнопку «Стоп-Сброс»;

– в параметр 03.34 занести количество импульсов на один оборот датчика скорости (500 имп/об);

– параметр 3.40 установить в «0»;

– выполнить автонастройку. В параметр 0.40 ввести значение «2» и установить тумблер SA3 – в положение «1», SA1 в положение «Вперед». Если появится сообщение tunE2, убрать разрешение на работу ПЧ и поменять местами фазы А и В электродвигателя, после чего нажать кнопку «Сброс». Повторить автонастройку.

– установить следующие значения:

4.13 = 400;

4.14 = 2000;

3.10 = 0.012;

3.11 = 1.2.

– используя навигационную клавишу и кнопку режима установить параметры преобразователя в соответствии с таблицей 1.2.

Таблица 1.2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметр | | Значение |
| 11.20 | Определение параметра 0.30 | 7.12 |
| 11.19 | Определение параметра 0.29 | 7.08 |
| 11.18 | Определение параметра 0.28 | 3.08 |
| 11.17 | Определение параметра 0.27 | 7.02 |
| 11.16 | Определение параметра 0.26 | 7.11 |
| 11.15 | Определение параметра 0.25 | 7.01 |
| 11.14 | Определение параметра 0.24 | 0.00 |
| 11.13 | Определение параметра 0.23 | 1.32 |
| 11.12 | Определение параметра 0.22 | 1.31 |
| 11.11 | Определение параметра 0.21 | 1.30 |
| 11.10 | Определение параметра 0.20 | 1.29 |
| 11.09 | Определение параметра 0.19 | 2.07 |
| 11.08 | Определение параметра 0.18 | 2.06 |
| 11.07 | Определение параметра 0.17 | 8.17 |
| 11.06 | Определение параметра 0.16 | 6.01 |
| 11.05 | Определение параметра 0.15 | 2.04 |
| 11.04 | Определение параметра 0.14 | 1.05 |
| 11.03 | Определение параметра 0.13 | 4.02 |
| 11.02 | Определение параметра 0.12 | 2.01 |
| 11.01 | Определение параметра 0.11 | 1.03 |
| 9.33 | Т26 выбор выхода цифрового В/В 3 | 4.11 |
| 9.10 | Назначение логической функции 1 | 7.09 |
| 9.07 | Инверсия источника 2 логической функции 1 | On(1) |
| 9.04 | Источник 1 логической функции 1 | 6.32 |
| 8.39 | Запрет автоматического выбора цифрового входа Т28 и Т29 | On(1) |
| 8.32 | Т25 выбор цифрового В/В2 | On(1) |
| 8.26 | Т26 назначение цифрового входа 6 | 9.30 |
| 8.25 | Т28 назначение цифрового входа 5 | 10.33 |
| 8.22 | Т25 источник/назначение цифрового В/В2 | 10.04 |
| 7.14 | Назначение аналогового входа 2 | 1.36 |
| 7.10 | Назначение аналогового входа 1 | 4.08 |
| 6.09 | Синхронизация | 0 |
| 6.01 | Способ торможения | Coast |
| 2.04 | Рампа | fast |
| 0.49 | Состояние защиты | L2 |

Аналоговый вход 1 конфигурируется как задание момента.

После вода параметров необходимо нажать кнопку «сброс» - ПЧ перейдет в режим регулирования момента.

Для облегчения процесса настройки преобразователя частоты можно использовать карту SMARTCARD. Считать с карты параметры, произвести автонастройку системы, и изменить параметры 4.13, 4.14, 3.10 и 3.11.

Работа с картой SMARTCARD

Для быстрой настройки электропривода можно использовать карту SMARTCARD (рисунок 1.4) с заранее запрограммированными в неё конфигурациями параметров.

Для установки карты необходимо снять панель управления преобразователя нажатием боковых кнопок.

Работа с картой осуществляется при отключенном SA3 «Разрешение» (в положение»0»).



Рисунок 1.4 – Вешний вид карты SMARTCARD

Карта входит в комплект поставки привода. В ней имеется 999 отдельных блоков данных. Любой из блоков с 1 по 499 можно использовать для хранения данных пока не будет занята ёмкость 4 кбайт.

Блоки данных карты имеют следующее назначение:

– от 1 до 499-настройки приложений (запись/чтение);

– от 500 до 999-макросы (только чтение).

Передача, стирание и защита данных выполняется путём ввода кода в параметр 0.00, как показано в таблице 1.3.

Сохранять в карту наиболее предпочтительным является параметров от исходных, поскольку они занимают меньше памяти карты, чем полные приложения, и в большинстве приложений лишь у нескольких параметров значение.

Если при передаче данных из карты в привод карта будет вынута, то произойдёт отключение привода. После такого отключения необходимо загрузить в привод стандартные значения.

Таблица 1.3– Коды SMARTCARD

|  |  |
| --- | --- |
| Код | Действие |
| 3ууу | Записать данные ЭППЗУ привода в блок SMARTCARD номер ууу |
| 4ууу | Записать данные привода как отличия от исходных в блок SMARTCARD номер ууу |
| 5ууу | Записать программу встроенного ПЛК в блок SMARTCARD номер ууу |
| 6ууу | Прочитать блок данных SMARTCARD номер ууу в привод |
| 7ууу | Стереть блок данных SMARTCARD номер ууу |
| 8ууу | Сравнить параметры привода с блоком ууу |
| 9999 | Стереть карту SMARTCARD |
| 9888 | Установить в SMARTCARD флаг “только чтение” |
| 9777 | Сбросить в SMARTCARD флаг “только чтение” |

yyy – номер блока (задается произвольно).

Для работы с картой необходимо вставить её в привод и выполнить действия, описанные в таблице 1.2. Необходимо запоминать номера блоков и приложения, находящиеся в них. Например, после настройки режима регулирования момента можно сохранить эту конфигурацию параметров в карту. Для этого необходимо вставить карту в привод, ввести в параметр 0.00 значение, например, 4400. Этот код означает сохранение параметров из привода в карту в блок номер 400. Чтобы считать макрос 4 из карты в привод нужно в параметр 0.00 ввести код 6400.

После попытки прочитать, записать или стереть данные на SMARTCARD может произойти отключения, если при выполнении этой команды возникли проблемы.

Более подробное описание параметров и режимов работы частотного преобразователя, а также отключения и соответствующие им проблемы приведены в «Руководстве пользователя «Unidrive».

При поставке лабораторного комплекса на SMARTCARD записаны следующие параметры:

– адрес 100 – режим регулирования скорости;

– адрес 200 – режим замкнутой по току и скорости системы;

– адрес 400 – режим регулирования момента.

Данными настройками можно пользоваться на лабораторных работах для быстрого изменения режимов работы привода.

С подробным описанием параметров преобразователя частоты можно ознакомиться в «Руководстве пользователя ПЧ Unidrive».

2. Управление приводом с кнопочной панели

Преобразователь частоты имеет возможность получать сигналы управления от кнопочной панели или с внешних элементов управления.

Сигналы управления разделяются на логические сигналы изменения состояния привода, а также на аналоговые сигналы задания частоты, момента, и т.д.

Перед изучением способов управления преобразователем необходимо ознакомиться со способами программирования ПЧ, а также сбросить все настройки ПЧ на заводские. Для этого установить в параметре 0.00 значение 1233, подтвердить действие нажатием кнопки .затем нажать кнопку  (стоп/сброс).

Установить требуемые настройки:

– используя каталожные данные на асинхронный двигатель (Приложение Б), ввести в преобразователь параметры двигателя:

0.43 – коэффициент мощности (не должен быть равен 0);

0.44 – номинальное напряжение;

0.45 – номинальная скорость (об/мин);

0.46 – номинальный ток;

0.47 – номинальная частота.

– выполнить самонастройку привода. При этом частотный преобразователь кратковременно включает асинхронный двигатель, выполняет расчет значения cosφ ненагруженного двигателя и определяет число пар полюсов. Самонастройка выполняется следующим образом:

а) Установить параметр 0.40 в «2», после того как дисплей перейдёт в режим индикации нажать кнопку SB1 «Сброс»,

б) Переключить тумблер «Разрешение» SA3 в положение «1» двигатель совершит несколько оборотов вала и параметр 0.40 автоматически установится в нулевое значение.

в) Переключить тумблер «Разрешение» в положение «0».

г) После проведения самонастройки преобразователя проверить параметры 0.42–0.47.

д) Сохранить новые измененные значения параметров. Для этого установить в параметр 0.00 значение 1000, утвердить изменения и нажать кнопку «Сброс».

Для управления приводом с кнопочной панели преобразователя:

– установить тумблер SA3 «Разрешение» в положение «0»;

– установить в параметр 0.01 значение «0» (минимальная выходная частота, Гц), а в параметр 0.02 значение «50» (максимальная выходная частота, Гц);

– установить в параметр 1.14 значение «4» или «Pad» для управления от кнопочной панели преобразователя;

– для разрешения реверса двигателя необходимо установить в параметре 6.13 значение «On»;

– переключить тумблер SA3 «Разрешение» в положение «1»;

– выбрать параметр 0.10 (скорость двигателя в об/мин);

– для запуска преобразователя нажать  («Пуск»), после чего появится сообщение «run» (преобразователь работает);

– нажать кнопку «Δ» – «Вверх» для увеличения скорости двигателя и соответственно кнопку «∇» – «Вниз» для ее уменьшения (на верхнем дисплее высвечивается скорость двигателя в об/мин);

– нажать «Стоп/сброс» и величина скорости снизится до нуля в соответствии с величиной замедления, указанной параметром 0.04. Нижний дисплей покажет dEC, а затем «rdY»;

– при повторном запуске (кнопка ) скорость двигателя возрастет до того значения, при котором было произведено отключение в соответствии с величиной ускорения, указанной параметром 0.03;

– опробовать реверс двигателя нажатием на кнопку ;

– для полной остановки преобразователя тумблер «Разрешение» перевести в положение «0».

3. Управление приводом с внешних элементов

Для управления электроприводом с внешних элементов необходимо отключить управление с кнопочной панели и определить аналоговых и дискретных входов частотного преобразователя:

– установить тумблер SA3 «Разрешение» в положение «0», потенциометр RP1 в нулевое положение (крайнее левое положение), переключатель SA1 «Направление вращения» в среднее положение;

– установить в параметре 1.14 значение «A1.A2» для внешнего управления;

– выбрать параметр 0.10;

– переключить тумблер SA3 «Разрешение» в положение «1»;

– переключателем SA1 выбрать направление вращения «Вперед»;

**–**потенциометром RP1 задать скорость вращения двигателя. Пуск будет выполнен в соответствии с темпом разгона (параметр 0.03), текущая скорость высвечивается на верхней строке дисплея;

– изменить направление вращения. Для этого переключателем SA1 выбрать направление вращения «Назад». Величина скорости снизится до нуля и далее произойдет реверс привода. Темп замедления скорости определяется параметром 0.04;

– для выхода преобразователя из рабочего режима тумблер SA3 «Разрешение» перевести в положение «0».

**Контрольные вопросы**

1. Какие способы регулировки частоты вращения асинхронных электродвигателей вы знаете?

2. С какой целью при регулировании частоты вращения изменяются одновременно частота и напряжение на выходе преобразователя?

3. Укажите достоинства и недостатки применения частотного регулирования?

4. Объясните работу преобразователя в тормозном режиме. Где рассеивается энергия торможения двигателя?

**Работа № 2. ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

**НА БАЗЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ**

**Цель работы**

Изучение схем, принципов работы и характеристик элементов систем управления на базе операционного усилителя (задатчик интенсивности, П-, И- и ПИ-регуляторы) электроприводов.

В результате выполнения работы студент должен:

**знать** - элементы систем управления на безе операционного усилителя и их характеристики;

**уметь** – включать в схему управления и настраивать эти элементы.

**Пояснения к работе**

Все используемые в работе элементы систем управления электропривода располагаются на модуле регуляторов. На лицевой стороне этого модуля представлены схемы используемых элементов с указанием ручек потенциометров и переключателей, с помощью которых меняются параметры используемых элементов.

Все измерения производятся с помощью персонального компьютера. Для этого на компьютере должно быть загружено ПО «Labdrive» и загружена соответствующая работа.

Лицевая панель модуля регуляторов представлена на рисунке 2.1.

На элементе DА1 реализован задатчик интенсивности (ЗИ). Входное напряжение на ЗИ подается с потенциометра RP1. Потенциометр RP2 задает темп изменения выходного напряжения ЗИ.

На операционном усилителе DА2 реализуется ПИ-регулятор с блоком ограничения выходного напряжения AQ1. На этом же регуляторе при выключенном с помощью переключателя SА4 конденсаторе С1 исследуется П-регулятор, при выключенном с помощью переключателя SА2 резисторе R3 исследуется И-регулятор, при одновременно включенных С1 и R3 исследуется ПИ-регулятор.

Регулятор на базе операционного усилителя DА3 используется для реализации контура регулирования тока в работах по исследованию систем подчиненного регулирования и в данной работе не используется.

Как таковой сборки схемы в этой работе не предусматривается. Осциллографирование входных и выходных напряжений элементов осуществляется подключением контрольных точек к аналоговым входам A1…A4 модуля ввода/вывода. Назначение аналоговых входов поясняется на экране компьютера.

Включение стенда в работу производится включением автомата QF1 модуля питания стенда. При этом получают питание все измерительные и усилительные устройства стенда, используемые в работе.



Рисунок 2.1 – Лицевая панель модуля регуляторов

**Ход работы:**

1. Снятие характеристик задатчика интенсивности

Для снятия статической характеристики ЗИ необходимо установить потенциометр RP2 в крайнее левое положение (минимальная постоянная времени ЗИ), а переключатель SA1 в левое или правое положение. Изменяя уровень входного сигнала с помощью потенциометра RP1 от минимального до максимального положений фиксировать входное и выходное напряжения ЗИ (входы A1, А3 модуля ввода/вывода). Результаты занести в таблицу 2.1 и рассчитать коэффициент передачи КЗИ задатчика:

.

Таблица 2.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| UВХ, В |  |  |  |  |  |  |  |
| UВЫХ, В |  |  |  |  |  |  |  |
| KЗИ, В/В |  |  |  |  |  |  |  |

Для снятия динамических характеристик ЗИ необходимо подключить ко входу ЗИ канал А1, а к выходу – канал A3 модуля ввода/вывода. Потенциометр RР2 поставить в крайнее левое положение (минимальная постоянная времени), а потенциометром RР1 задать напряжение на входе ЗИ UВХ= 4…10 В.

При включении переключателя SA1 в левое или правое положения зафиксировать переходный процесс на выходе ЗИ. Аналогичным образом выполнить опыт для среднего и крайнего правого положений потенциометра RP2.

2. Исследование П-регулятора с блоком ограничения

Исследование П-регулятора проводится на операционном усилителе DA2 при выведенном в максимум блоке ограничения (переключатель SA3 в положение 5).

Исследование заключается в снятии статической характеристики регулятора при нескольких значениях коэффициента усиления.

Для проведения опыта необходимо:

– убрать интегральный канал регулятора (SA4 в положение 0);

– задать любой коэффициент усиления переключателем SA2;

– задавая сигнал на входе регулятора потенциометром RP1 снять статическую характеристику регулятора, занося результаты в таблицу 2.2. Сигналы подавать соответственно на входы A1 и А2 модуля ввода/вывода.

Опыт повторить для 3 значений коэффициента усиления.

По данным опыта рассчитать коэффициенты усиления для каждого случая.

Таблица 2.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| UВХ, В |  |  |  |  |  |  |  |
| UВЫХ, В |  |  |  |  |  |  |  |
| К |  |  |  |  |  |  |  |

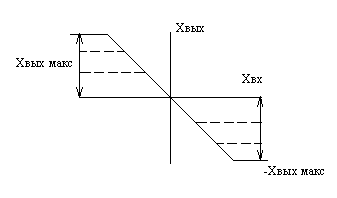


Рисунок 6.2 – Примерный вид статической характеристики

пропорционального регулятора

Блок ограничения служит для ограничения выходного сигнала регулятора на установленном уровне.

Для исследования блока ограничения необходимо:

– установить максимальный коэффициент усиления регулятора;

– установить максимальный сигнал задания на входе регулятора;

– записав значение напряжения на выходе регулятора, изменить уставку блока ограничения и зафиксировать показания в таблице 2.3.

Таблица 2.3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Положение SA3 | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 |
| UВЫХ, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

3. Исследование И-регулятора и ПИ-регулятора

Исследование проводится на том же регуляторе, реализованном на операционном усилителе DА2.

Собрать схему И - регулятора путем перевода переключателя SA2 в положение "0". Переключатель SA3 установить в положение "5". С помощью переключателя SA4 установить требуемое значение интегрирующей емкости в цепи обратной связи операционного усилителя.

Для исследования влияния емкости на характер переходного процесса выходного сигнала регулятора подключить на выход регулятора канал А2 модуля ввода/вывода.

Порядок проведения опыта:

– на потенциометре RP1 установить напряжение в пределах 1,0…3,0 В;

– SА1 установить в среднее положение;

– подключить вход И-регулятора к потенциометру RP1;

– при включении SА1 в левое или правое положение зафиксировать переходный процесс на выходе И-регулятора. Осциллографирование провести для нескольких выбранных положений переключателя SА4. По полученным осциллограммам экспериментально определить постоянные времени интегрирования.

Для получения ПИ-регулятора переключателем SА2 в цепь обратной связи DА2 последовательно с конденсатором С1 вводится сопротивление резистора R3. Для двух выбранных положений переключателей SА2 и SА4 снять переходную характеристику ПИ-регулятора по методике, использованной при работе с И-регулятором. Экспериментально определить постоянную времени интегрирования и коэффициент пропорциональности.

Представляемые в отчете осциллограммы должны быть обработаны и сделаны выводы об их характере и полученных параметрах.

**Контрольные вопросы**

1. Для чего служит задатчик интенсивности?

2. Чем реализуется темп нарастания напряжения задатчика?

3. Как ограничивается уровень выходного напряжения задатчика?

4. Что такое регулятор и какие функции он выполняет в замкнутой системе управления?

5. Какие существуют схемы ограничения выходного сигнала операционного усилителя и принцип их действия?

6. Как расчетным путем определить передаточную функцию регулятора?

7. Как экспериментально определить параметры П-, И-, ПИ- регуляторов?

8. Почему в разомкнутых контурах регулирования не допускается работа аналогового регулятора в интегрирующем режиме?

**Работа №3 ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО**

**ВОЗДУШНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ.**

**Цель работы**

Ознакомится с работой и характеристиками автоматического воздушного выключателя.

В результате выполнения лабораторной работы студент должен:

**знать -** принцип действия автоматического выключателя.

**уметь -** включать автоматический выключатель в схему;

**-** снимать времятоковую характеристику автоматического выключателя.

**Ход работы**

1. Убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания, перечень устройств представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1- Перечень устройств

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Обозначение | Наименование | Тип | Параметры |
| G1 | Однофазный источник питания | 218 | ~ 220В / 16А |
| A1 | Регулируемый автотрансформатор | 318.1 | ~ 0…240В / 2А |
| A4 | Однофазный трансформатор | 372 | 120ВА / 220/24В |
| A11 | Автоматический однополюсный выключатель. | 359 | ~ 230В / 0,5А |
| P2 | Измеритель тока и напряжения | 524 | 0…5А / 0,01…999с |

1. Соединить гнёзда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» трёхфазного источника питания А1.
2. Соединить аппаратуру в соответствии с монтажной схемой, представленной на рисунке 3.1.
3. Включите автоматический выключатель и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1.
4. Включите выключатель «СЕТЬ» измерителя тока и времени Р2.
5. Поверните регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 в крайнее по часовой стрелке положение.
6. Включите выключатель А11.
7. Включите выключатель «СЕТЬ» автотрансформатора А1.

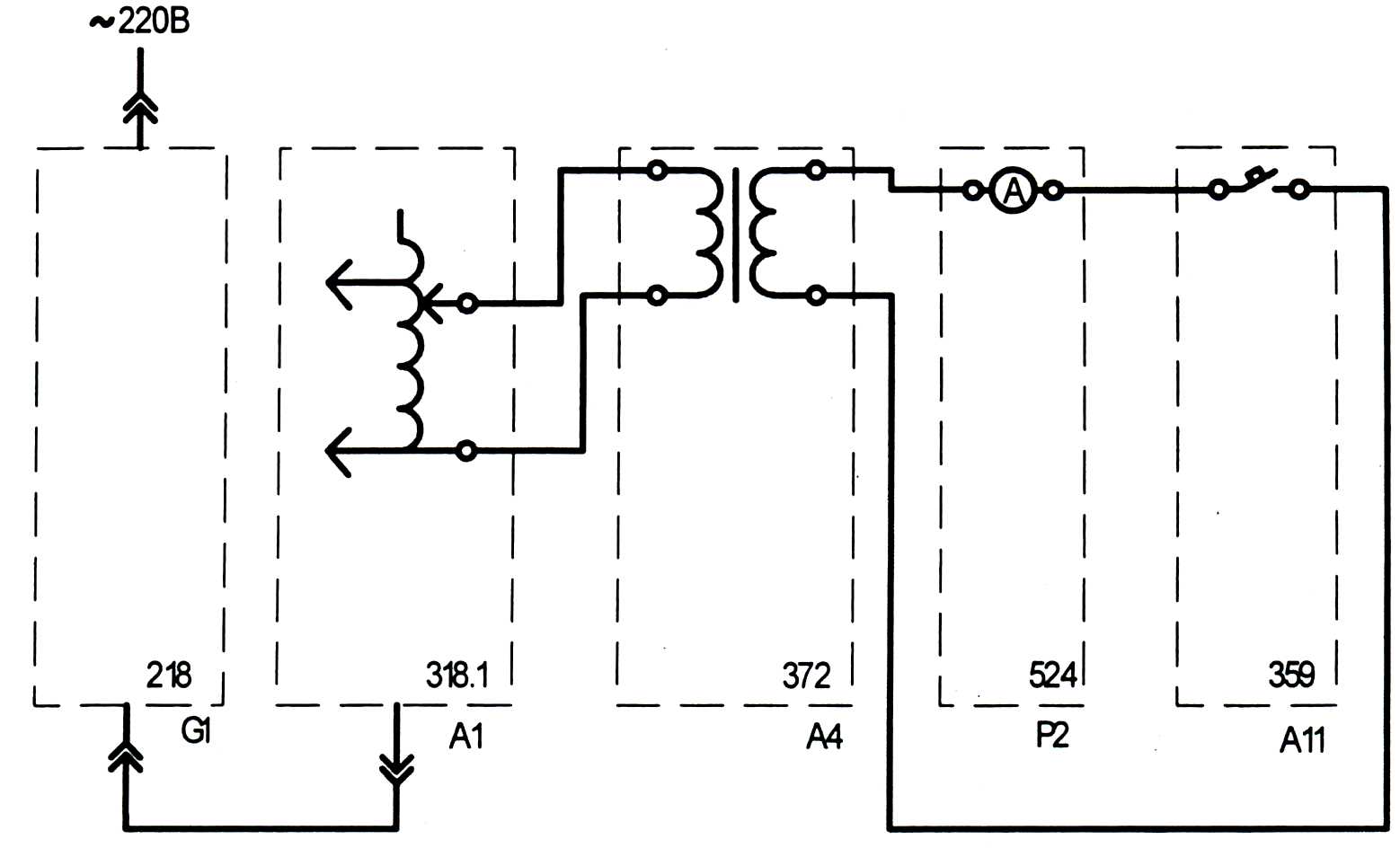


Рисунок 3.1 - Схема электрических соединений.

1. После отключения выключателя А11 считайте показания тока **I** и времени **t**, высвечивающиеся на индикаторах измерителя тока и времени Р2, и занесите их в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **I, A** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **t, c** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Отключите выключатель «СЕТЬ» автотрансформатора А1.
2. Поверните регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 против часовой стрелки примерно на 45 градусов.
3. Спустя, например, 5 минут повторите операции начиная с включения выключателя А11 и заканчивая поворотом регулировочной рукоятки автотрансформатора А1.
4. Операции повторяйте до тех пор, пока после включения выключателя «СЕТЬ» автотрансформатора А1 выключатель А11 не перестанет отключаться.
5. Отключите автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
6. Отключите выключатель «СЕТЬ» автотрансформатора А1, измерителя тока и времени Р2.
7. Используя данные таблицы 3.2, постройте искомую времятоковую характеристику **t=f(I)** автоматического воздушного выключателя.

**Контрольные вопросы:**

* 1. Назовите виды защит, которые обеспечивает автоматический воздушный выключатель.
  2. Назовите основные неисправности автоматов и способы их устранения.

**Работа №4**  **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТАКТОРА**

**Цель работы**

Ознакомиться со схемой включения электромагнитного контактора и определить коэффициент возврата.

В результате выполнения лабораторной работы студент должен:

**знать -** работу электромагнитного контактора.

**уметь** - включать электромагнитный контактор в схему;

* определять коэффициент возврата.

**Ход работы**

1. Убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания, перечень устройств представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1- Перечень устройств

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Обозначение | Наименование | Код | Параметры |
| G1 | Однофазный источник питания | 218 | ~ 220 В / 16 A |
| А1 | Регулируемый автотрансформатор | 318.1 | ~ 0...240 В / 2 А |
| А2 | Контактор | 364 | ~ 380 В / 10 А |
| А3 | Выпрямитель | 322 | 400 А / 2 А |
| Р1 | Блок мультиметров | 508.2 | 3 мультиметра  ~ 0...1000 В /  ~ 0...10 А /  0...20 МОм |

1. Соединить гнёзда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» трёхфазного источника питания А1.
2. Соединить аппаратуру в соответствии с монтажными схемами, представленными на рисунке 4.1 (питание обмотки контактора синусоидальным током промышленной частоты) или 4.2 (питание обмотки контактора выпрямленным током).

4. Проверните регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 в крайнее против часовой стрелки положение.

5. Включите автоматический выключатель и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1.

6. Включите выключатели <<СЕТЬ>> блока мультиметров Р1 и автотрансформатора А1.

7. Активируйте используемый мультиметр Р1.1.

8.Медленно вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 по часовой стрелке, увеличивайте напряжение, прикладываемое к обмотке контактора А2.

9. В момент срабатывания реле А8 зафиксируйте с помощью вольтметра Р1.1 напряжение U1.

10.Медленно вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 против часовой стрелки, уменьшайте напряжение, прикладываемое к обмотке контактора А2.

11. В момент отключения контактора зафиксируйте с помощью вольтметра Р1.1 напряжение U2.

12. Отключите автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

13. Отключите выключатели <<СЕТЬ>> блока мультиметров Р1 и автотрансформатора А1.

14. Вычислите коэффициент возврата электромагнитного контактора напряжения по формуле

**k = U2/U1**

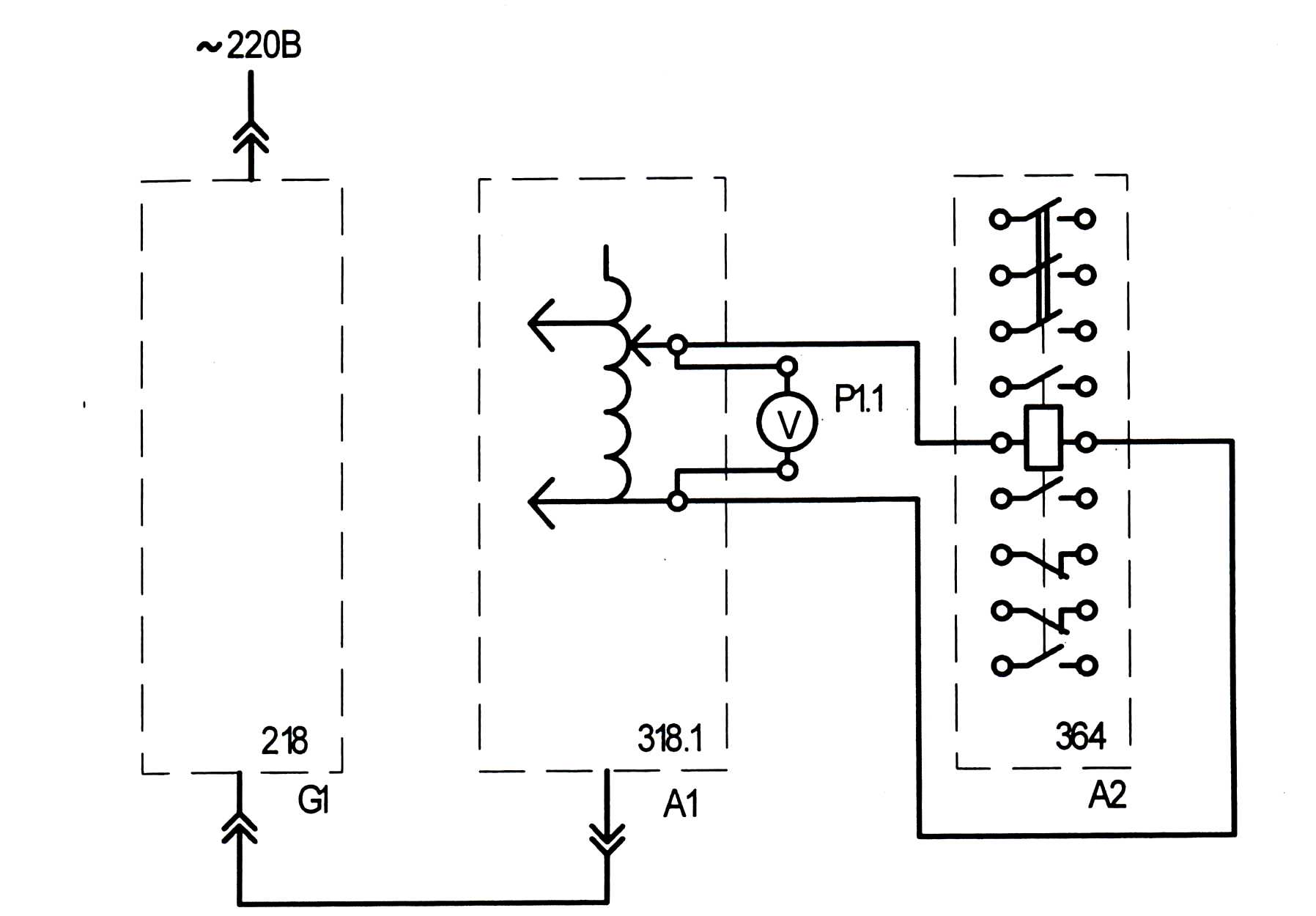


Рисунок 4.1**-** Монтажная схема

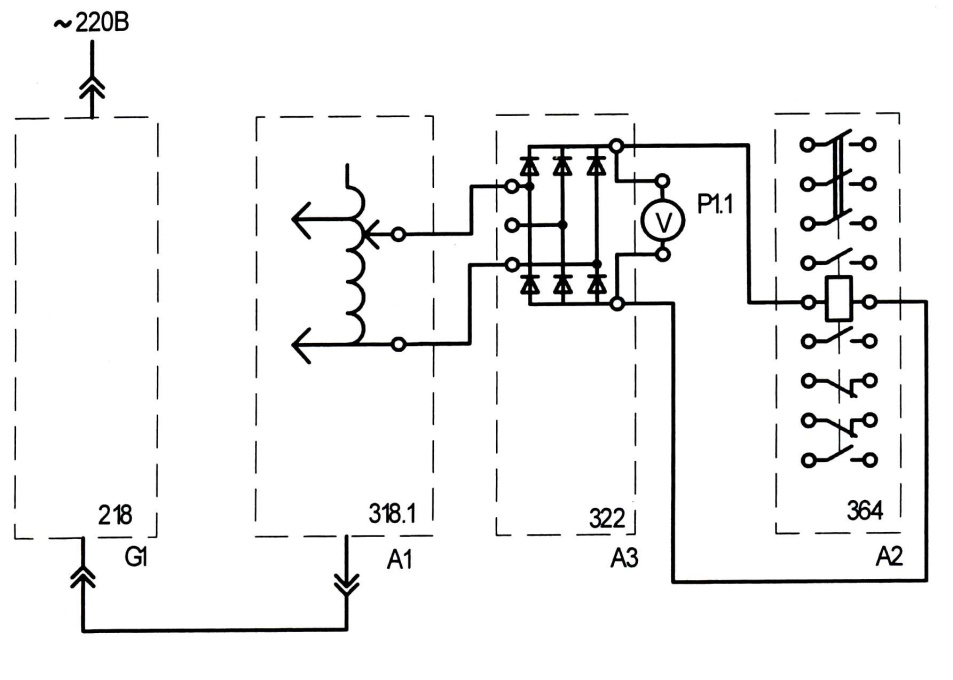
****

Рисунок 4.2**-**Монтажная схема

**Контрольные вопросы**

1. Опишите устройство и принцип действия электромагнитного контактора
2. Назовите конструктивные отличия контакторов, работающих на переменном и постоянном токах.

**Работа №5 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО**

**ДАТЧИКА ВРЕМЕНИ**

**Цель работы**

Изучить порядок настройки электромагнитного датчика (реле) времени и снять зависимость выдержки времени от уставки реле.

В результате выполнения лабораторной работы студент должен:

**знать** - работу реле времени.

**уметь** - выполнять настройку электромеханического реле времени.

**Ход работы**

1. Убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания, перечень устройств представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1- Перечень устройств

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Обозначение | Наименование | Код | Параметры |
| G1 | Однофазный источник питания | 218 | ~ 220 В / 16 A |
| А1 | Регулируемый автотрансформатор | 318.1 | ~ 0...240 В / 2 А |
| А4 | Однофазный трансформатор | 372 | 120 ВА / 220/24 В |
| А5 | Электротепловое реле | 356 | Главная цепь:  ~ 3 х 200 В / 10 А  Уставка реле:0,42...0,58 А |
| А6 | Сдвоенный реактор | 373 | ~ 220 B / 2 х 5 A / 0,005 Гн |
| А8 | Промежуточное реле | 370 | Номинальное напряжение ~ 220 В/ Ток контактов реле 5 А / Коммутируемое напряжение 250 В / Контакты 1з+4р |
| А9 | Реле времени | 369 | Напряжение питания ~ 100...380 В / Уставка реле 0,5...9,0 с / Коммутируемое напряжение 380 В / Контакты 1з+1р |
| Продолжение таблицы 5.1 | | | |
| Обозначение | Наименование | Код | Параметры |
| А11 | Автоматический однополюсный выключатель | 359 | ~ 230 B / 0,5 А |
| Р1 | Блок мультиметров | 508.2 | 3 мультиметра  ~ 0…1000 В /  ~ 0…10 А /  0…20 МОм |
| Р2 | Измеритель тока и времени | 524 | 0...5 А /  0,01...999 с |

1. Соединить гнёзда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» трёхфазного источника питания А1.
2. Соединить аппаратуру в соответствии с монтажной схемой, представленной на рисунке 5.1.

4. Отключите выключатель А11.

5. Поверните регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 в крайнее против часовой стрелки положение.

6. Установите желаемую уставку t1 реле времени А9, например 1 с, и занесите её в таблицу 5.2.

7. Включите автоматический выключатель и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания G1.

8. Включите выключатели <<СЕТЬ>> автотрансформатора А1, блока мультиметров Р1, измерителя тока и времени Р2.

9. Активируйте используемый мультиметр Р1.1.

10. Вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1, установите по вольтметру Р1.1 напряжение на выходе автотрансформатора А1, равное 220 В.

11. Включите выключатель А11.

12. После срабатывания реле времени А9 считайте время t2, высвечивающееся на индикаторе измерителя тока Р2, и занесите его в таблицу 5.2.

Таблица 5.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **t1, с** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **t2, с** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

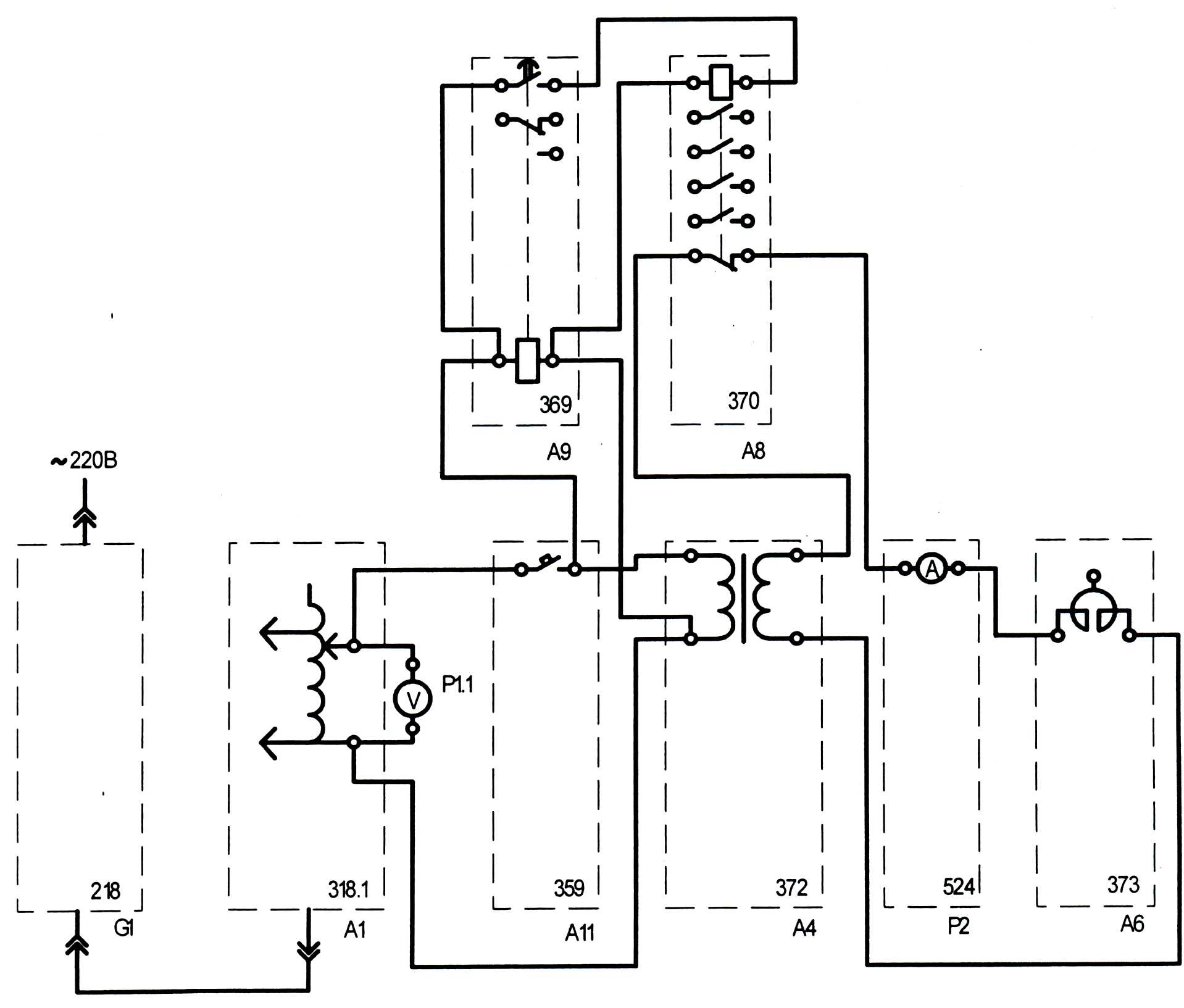


Рисунок 5.1 **-** Монтажная схема

13. Отключите выключатель А11.

14. Увеличьте уставку t1 реле времени А9, например, на 1 с.

15. Повторите операции начиная с включения выключателя А11 и заканчивая увеличением уставки t1 реле времени А9.

16. Операции повторите до достижения уставки t1 реле времени А9 значения, равного 9 с.

17. Отключите автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

18. Отключите выключатели <<СЕТЬ>> автотрансформатора А1, блока мультиметров Р1, измерителя тока и времени Р2.

19. Используя данные таблицы 5.2, постройте искомую зависимость выдержки времени от уставки электромеханического реле времени t2=f(t1).

**Контрольные вопросы:**

1. Опишите принцип действия электромеханического реле времени
2. Когда реле времени начинает отсчет выдержки времени

**Работа №6. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ**

**"ТИРИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ –**

**ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА"**

**Цель работы**

Исследование рабочих свойств системы "Тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока" (ТП-Д), способов регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока.

В результате выполнения работы студент должен:

**знать** – способы регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока;

**уметь** – реализовывать способ регулирования скорости вращения двигателя постоянного тока с помощью тиристорного преобразователя.

**Пояснения к работе**

Перед проведением лабораторной работы необходимо изучить принцип работы с модулем тиристорного преобразователя (Приложение А) и привести модули в исходное состояние:

– согласно указаниям (Приложение А) перевести модуль тиристорного преобразователя в режим регулирования скорости, установить переключатель SA3 в положение «Авт», SA4 – в положение "НМ", кнопку "Сеть" – в нижнее положение, SA6 – в нижнее положение;

– переключатель SA1 модуля ПЧ установить в среднее положение, потенциометр RP1 – на минимум снимаемого напряжения (крайнее положение против часовой стрелки), переключатель SA3 – в нижнее положение;

– потенциометр сигнала задания на модуле регуляторов установить в крайнее положение против часовой стрелки, переключатель SA5 установить в положение «3,5», SA6 установить в положение «0».

Исследуемый двигатель постоянного тока входит в состав электромашинного агрегата, включающего в себя собственно исследуемый двигатель М2, нагрузочную машину – асинхронный электродвигатель с фазным ротором – М1, импульсный датчик скорости М3.

Для проведения работы на персональном компьютере должно быть запущено ПО Labdrive и выбрана соответствующая работа.

Схема для исследования системы приведена на рисунке 6.1.

Двигатель постоянного тока (ДПТ) подключается к модулю тиристорного преобразователя (ТП) через датчики тока и напряжения. Якорная обмотка присоединяется к выходам якорного преобразователя модуля ТП, Обмотка возбуждения – к выходам нерегулируемого источника напряжения =220В модуля ТП.

Выход регулятора тока модуля регуляторов подключается ко входу X1 модуля ТП, а также ко входу A4 модуля ввода/вывода. На вход регулятора тока подается сигнал задания с потенциометра RP1 модуля.

В качестве нагрузочной машины выступает асинхронный электродвигатель, подключенный к преобразователю частоты ПЧ.

Преобразователь частоты запитывается трехфазным напряжением 3x380В от модуля МП.

Выходы датчиков тока и напряжения, а также ПЧН силового модуля подключаются к входам А1, А2 , А3 модуля ввода/вывода соответственно.

После сборки схемы необходимо настроить преобразователь частоты на режим регулирования момента.



Рисунок 6.1 – Схема для исследования системы ТП-Д

**Ход работы**

1. Естественная механическая и электромеханическая характеристики системы

Естественные характеристики представляют собой зависимости частоты вращения двигателя от тока якоря (электромеханическая характеристика) и от момента на валу электродвигателя (механическая характеристика): ,  при постоянной величие питающего напряжения UЯ=const.

Для снятия характеристик необходимо:

– включить автоматические выключатели QF1, QF2;

– включением кнопки «Сеть» подать напряжение на ТП;

– подать разрешение на работу ТП (SA6) и установить потенциометром RP1 модуля регуляторов выходное напряжение ТП 200В;

– разрешить работу ПЧ (SA3) и, выбрав необходимое направление вращения АДФР, задавать потенциометром RP1 модуля ПЧ момент нагрузки. При снятии опыта следить за током якоря ДПТ. Он не должен превышать 1,5А;

– при проведении опыта желательно зафиксировать несколько точек двигательного и генераторного режимов. Результаты опыта заносить в таблицу 6.1.

После проведения опыта вывести RP1 модуля ПЧ в крайнее левое положение, переключатель SA1 установить в среднее положение, остановить ДПТ.

Таблица 6.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Данные опыта | | | | Расчетные данные | | | | |
| IЯ,А | UЯ,В | IВ,А | n,об/мин | ω,рад/с | PЯ, Вт | ΔPЭЛ,Вт | PВ,Вт | MВ,Н∙м |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Расчетные данные.

Частота вращения электродвигателя, рад/с

.

Мощность на выходе тиристорного преобразователя, Вт

.

Электрические потери в якорной цепи электродвигателя, Вт

,

где RЯ – сопротивление якорной цепи (Приложение Б), Ом.

Мощность на валу электродвигателя, Вт

,

где  – механические потери ДПТ (Приложение Б), Вт.

Момент на валу электродвигателя, Н∙м

.

По результатам опыта построить характеристики , .

2. Снятие искусственной характеристики

Искусственные характеристики при пониженном напряжении представляют собой зависимости частоты вращения двигателя от тока якоря (электромеханическая характеристика) и от момента на валу электродвигателя (механическая характеристика): ,  при напряжении якоря, не равном номинальному, отсутствии добавочных сопротивлений в якорной цепи, номинальном потоке возбуждения.

Опыт снимается аналогично предыдущему. При выполнении опыта установить напряжение UТП по указанию преподавателя.

При установке пониженного напряжения зафиксировать точку короткого замыкания.

Результаты измерений занести в таблицу 6.2.

Таблица 6.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Данные опыта | | | | Расчетные данные | | | | |
| IЯ,А | UЯ,В | IВ,А | n,об/мин | ω,рад/с | PЭЛ,Вт | ΔPЭЛ,Вт | PВ,Вт | MВ,Н∙м |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

3. Снятие регулировочных характеристик

Регулировочные характеристики представляют собой зависимости напряжения на выходе преобразователя, частоты вращения, мощности на выходе ТП и на валу, КПД электродвигателя от напряжения управления: UЯ, ω, PЭЛ, PВ, η=f(UВХ), IЯ=const.

Для снятия данной характеристики необходимо при постоянном значении тока якоря изменять величину сигнала задания, фиксируя показания измерительных приборов.

Опыт проводится на холостом ходу и под нагрузкой, создаваемой преобразователем частоты.

Порядок проведения опыта:

– подать напряжение на тиристорный и частотный преобразователи, запустить ТП, установив выходное напряжение на уровне 200В;

– с помощью преобразователя частоты установить ток якоря, заданный преподавателем;

– изменяя положение RP1 МР регулировать выходное напряжение преобразователя. После установки определенного напряжения регулировкой потенциометра RP1 модуля ПЧ добиться заданного тока якоря ДПТ. Результаты занести в таблицу 6.3.

Таблица 6.3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Данные опыта | | | | Расчетные данные | | | | |
| UВХ, В | UЯ,В | IЯ,А | n,об/мин | ω,рад/с | PЯ, Вт | ΔPЭЛ,Вт | PВ,Вт | η |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

После проведения опыта необходимо снять нагрузку с электродвигателя переведением тумблера SA1 модуля ПЧ в среднее положение, остановить ДПТ, убрать разрешение на работу тиристорного преобразователя (SA6 в нижнее положение), выключить питание стенда.

По результатам опыта построить регулировочные характеристики системы для двух значения тока якоря, объяснить их отличие.

4. Снятие переходных процессов системы

Для снятия переходных процессов пуска/останова необходимо установить масштаб по времени в окне лабораторной работы на уровне 10с и заснять процесс пуска/останова при пониженном напряжении якоря ТП.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автоматические выключатели QF1 (МПС), QF2 (МП);

– включением кнопки «Сеть» модуля ТП подать напряжение на преобразователь;

– подав разрешение на работу ТП (SA6), установить частоту вращения на уровне 250…300 об/мин;

– остановить ДПТ, переведя переключатель SA5 в среднее положение;

– произвести последовательно включение и выключение ТП переведением SA5 из среднего положения в одно из крайних, а затем обратно, одновременно фиксируя переходные процессы на экране компьютера.

По результатам опытов составить отчет по проделанной работе, в котором привести таблицы с опытными и расчетными данными, а также опытные кривые характеристик. Сделать выводы по работе.

**Контрольные вопросы**

1. Какие способы регулирования частоты вращения ДПТ существуют?

2. Как осуществляется регулирование напряжения на выходе ТП?

3. В чем преимущества и недостатки фазового регулирования напряжения?

4. В каком режиме работает двигатель при питании от ТП в следующих случаях:

– UЯ>0, n>0, M>0;

– UЯ>0, n=0, M>0;

– UЯ>0, n>0, M<0;

– UЯ>0, n<0, M>0;

– UЯ<0, n<0, M<0.

5. С помощью какой обратной связи можно добиться горизонтальной механической характеристики:

– по напряжению;

– по скорости;

– по ЭДС;

– по току якоря.

**Работа №7. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОРМОЗНЫХ РЕЖИМОВ**

**РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

**Цель работы**

Исследование характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения в тормозных режимах работы.

В результате выполнения лабораторной работы студент должен:

**знать** – виды торможения двигателя постоянного тока;

**уметь** – собирать схемы для снятия характеристик различных тормозных режимов двигателя постоянного тока.

**Пояснения к работе**

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

– переключатель SA1 модуля МДС1 установить в положение «∞»;

– кнопку «Сеть» модуля ТП, переключатели SA4, SA6 перевести в нижнее положение, переключатель SA3 перевести в положение «Руч», установить режим регулирования скорости ТП (Приложение А);

– переключатель SA1 модуля ПЧ перевести в среднее положение, SA1 – в нижнее положение, потенциометр RP1 установить в крайнее положение против часовой стрелки.

Исследуемая машина постоянного тока входит в состав электромашинного агрегата, включающего в себя собственно исследуемую машину постоянного тока М2, нагрузочную машину – машину переменного тока – М1 и импульсный датчик скорости М3.

Для проведения работы на персональном компьютере должна быть запущена программа Labdrive и выбрана соответствующая работа.

Описание программного обеспечения Labdrive и LabShow приведено в приложениях Г,Д.

**Ход работы**

1. Рекуперативное торможение ДПТ

Рекуперативное торможение двигателя постоянного тока представляет собой способ торможения, при котором энергия торможения отдается обратно в источник питания. В данном случае в качестве источника питания выступает тиристорный преобразователь, который отдает рекуперированную энергию в сеть.

Рекуперативное торможение возможно только в случае, когда частота вращения двигателя превосходит частоту вращения на холостом ходу. При этом ЭДС двигателя оказывается больше ЭДС источника.

Схема для снятия характеристики рекуперативного торможения представлена на рисунке 7.1.

Якорная цепь ДПТ подключается к выходу тиристорного преобразователя через регулируемые сопротивления RP1 и RP2, соединенные в параллель, модуля МДС1, а также датчики тока и напряжения СМ.

Выходы ДТ, ДН и ПЧН силового модуля подключаются ко входам А1, А2 и А3 соответственно модуля МВВ, выход датчика напряжения ТП подключается ко входу A4 МВВ.

Тормозные режимы обеспечивает асинхронный электродвигатель, подключенный к преобразователю частоты.

Перед началом работы перевести ПЧ в режим регулирования по моменту.



Рисунок 7.1 – Схема для исследования двигателя независимого возбуждения

Порядок проведения опыта:

– включением автоматических выключателей QF1, QF2 модулей питания стенда и питания подать напряжение на необходимые элементы стенда;

– перевести переключатель SA1 МДС1 в положение «0»;

– включить кнопку «Сеть» ТП;

– подав разрешение на работу ТП, установить выходное напряжение на уровне 120…150В;

– выбрав необходимое направление вращения ПЧ, задать момент нагрузки. Если частота вращения ДПТ уменьшается, изменить направление вращения ПЧ (SA1 модуля ПЧ);

– увеличивая момент, снять несколько точек в режиме рекуперации ДПТ, фиксируя необходимые величины в таблице 7.1. Рекомендуется зафиксировать также точку холостого хода ДПТ и точку перехода в генераторный режим.

Таблица 7.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| UЯ, В |  |  |  |  |  |  |  |  |
| IЯ, А |  |  |  |  |  |  |  |  |
| n, об/мин |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ω, 1/с |  |  |  |  |  |  |  |  |
| PЯ, Вт |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ΔPЯ, Вт |  |  |  |  |  |  |  |  |
| PВ, Вт |  |  |  |  |  |  |  |  |
| М, Н∙м |  |  |  |  |  |  |  |  |
| ηДПТ |  |  |  |  |  |  |  |  |

Расчетные данные.

Частота вращения электродвигателя, 1/с

.

Выходная мощность тиристорного преобразователя, Вт

PЯ=UЯ∙IЯ.

Электрические потери в обмотке якоря, Вт

,

где rЯ – сопротивление якорной цепи ДПТ (Приложение Б), Ом.

Мощность на валу ДПТ, Вт

,

где  – механические потери ДПТ (Приложение Б), Вт.

Момент, развиваемый двигателем, Н∙м

,

.

2. Торможение противовключением

Торможение противовключением электродвигателя представляет собой торможение, при котором электродвигатель вращается в сторону, противоположную заданной. Данный вид торможения встречается преимущественно при нагрузках с активным моментом сопротивления. Схема для снятия характеристик представлена на рисунке 7.1.

Для снятия характеристик электродвигателя в режиме противовключения необходимо ввести в якорную цепь добавочное сопротивление для уменьшения жесткости механической характеристики. Данное сопротивление устанавливается в пределах 120…160 Ом переключателем SA1 МДС2.

Порядок проведения опыта:

– включением автоматических выключателей QF1 и QF2 подать напряжение на стенд;

– предварительно установив добавочное сопротивление в цепи якоря ДПТ, включить ТП (кнопка «Сеть»);

– подав разрешение на работу ТП (SA6), установить частоту вращения ДПТ на уровне 350…400 об/мин;

– разрешить работу ПЧ (SA3) и, задав переключателем SA1 модуля направление вращения асинхронного двигателя, изменять момент нагрузки потенциометром RP1 модуля. Если частота вращения увеличивается, поменять направление вращения АДКЗ;

– плавно задавая нагрузку, снять механическую характеристику ДПТ, при этом зафиксировав точку короткого замыкания (UЯ>0, МВ>0, ω=0), а также несколько точек режима противовключения. Данные занести в таблицу 7.2.

Расчетные данные.

Выходная мощность тиристорного преобразователя, Вт

PТП=UТП∙IЯ.

Потери в добавочном сопротивлении, Вт

.

Таблица 7.2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| RДОБ= | | | | | | |
| UТП, В |  |  |  |  |  |  |
| UЯ, В |  |  |  |  |  |  |
| IЯ, А |  |  |  |  |  |  |
| n, об/мин |  |  |  |  |  |  |
| ω, 1/с |  |  |  |  |  |  |
| PТП, Вт |  |  |  |  |  |  |
| PЯ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| ΔPЯ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| ΔPДОБ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| PВ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| М, Н∙м |  |  |  |  |  |  |
| ηДПТ |  |  |  |  |  |  |

3. Динамическое торможение

Перед проведением опыта перевести преобразователь частоты в режим регулирования скорости.

Динамическое торможение ДПТ представляет собой такой тип торможения, при котором якорная цепь отключается от источника питания и подключается к сопротивлению RДТ.

Для снятия характеристик динамического торможения собирается схема, показанная на рисунке 7.2.



Рисунок 7.2 – Схема для снятия характеристик динамического торможения

Обмотка возбуждения ДПТ подключается к выходу =220В модуля питания, а якорная цепь через датчики тока и напряжения силового модуля включается на добавочные сопротивления RP1 и RP2, соединенные в параллель, модуля МДС1.

Выходы датчиков тока и напряжения, а также выход ПЧН подключаются к входам А1, А2, А3 модуля вода/вывода соответственно.

Тормозные режимы обеспечивает асинхронный электродвигатель, подключенный к преобразователю частоты.

Порядок проведения опыта:

– установив по указанию преподавателя добавочное сопротивление в цепи якоря ДПТ, подать напряжение на стенд включением автоматических выключателей QF1 (МПС), QF2 (МП);

– задав переключателем SA1 модуля ПЧ направление вращения асинхронного двигателя, изменять частоту вращения потенциометром RP1 модуля;

– плавно задавая нагрузку, снять механическую характеристику ДПТ при вращении вперед и назад. Ограничение по току якоря: IЯ<1.5А. Данные занести в таблицу 7.3.

– повторить опыт для другого значения сопротивления в якорной цепи, а также для нулевого значения сопротивления (SA1 МДС1 перевести в положение «0»).

Таблица 7.3

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| RДОБ= | | | | | | |
| UЯ, В |  |  |  |  |  |  |
| IЯ, А |  |  |  |  |  |  |
| n, об/мин |  |  |  |  |  |  |
| ω, 1/с |  |  |  |  |  |  |
| PЯ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| ΔPЯ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| ΔPДОБ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| PВ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| М, Н∙м |  |  |  |  |  |  |

4. Обработка результатов

После проведения опытов необходимо рассчитать необходимые величины, указанные в таблицах, а также построить механические ω=f(M) и электромеханические характеристики ω=f(IЯ).

Также необходимо построить энергетические диаграммы для следующих режимов работы:

– холостой ход;

– двигательный режим;

– идеальный холостой ход;

– рекуперативное торможение;

– точка короткого замыкания;

– торможение противовключением;

– динамическое торможение введением RДТ;

– динамическое торможение при RДТ=0.

Энергетические диаграммы представляют собой графическое отображение распределения потерь и показывают направление потоков мощностей в электроприводе. Диаграмма отображается в масштабе для конкретного режима работы и для конкретной точки. Направление потоков мощностей показывается стрелками с указанием величин потерь. Примерный вид диаграммы для двигательного режима представлен на рисунке 7.3.



Рисунок 7.3 – Энергетическая диаграмма ДПТ для двигательного режима

**Контрольные вопросы**

1. Какой из видов торможения ДПТ наиболее оптимален в энергетическом отношении, какой наименее оптимален?

2. Какой вид торможения обеспечивает точную остановку электропривода с реактивным статическим моментом на валу?

3. Возможно ли динамическое торможение ДПТ параллельного возбуждения и если да, то эффективно ли оно?

4. Для каких режимов торможения понятие КПД неприменимо?

**Работа №8. ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМЫ**

**"ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ –**

**АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ"**

**Цель работы**

Исследование рабочих свойств системы "Преобразователь частоты – асинхронный двигатель" (ПЧ-АД), частотного регулирования скорости вращения, скалярного и векторного управления в разомкнутой системе.

В результате выполнения работы студент должен:

**знать** – свойства системы ПЧ-АД;

**уметь** – снимать характеристики системы ПЧ-АД

**Пояснения к работе**

Исследуемый асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором входит в состав электромашинного агрегата, включающего в себя собственно исследуемый двигатель М1, нагрузочную машину – двигатель постоянного тока независимого возбуждения– М2, импульсный датчик скорости М3.

Перед проведением работы при выключенном автомате QF1 МПС привести модули в исходное состояние:

– переключатель "Сеть" модуля ТП перевести в нижнее положение, тумблер SA3 – в положение «Руч», SA4, SA6 – в нижнее положение, SA5 – в среднее положение. Перевести ТП в режим регулирования момента;

– переключатель SA1 модуля ПЧ перевести в среднее положение, SA3 – в среднее в положение «0», потенциометр RP1 – в крайнее положение против часовой стрелки, установить перемычку между клеммами XS1 и XS2 модуля.

Для проведения работы на персональном компьютере должно быть загружено ПО Labdrive и соответствующая лабораторная работа.

Схема для снятия характеристик системы ПЧ-АД приведена на рисунке 8.1.

Двигатель постоянного тока (ДПТ) подключается к модулю тиристорного преобразователя (ТП). Якорная обмотка присоединяется к выходам якорного преобразователя модуля ТП через датчики тока и напряжения, Обмотка возбуждения – к выходам нерегулируемого источника напряжения =220В модуля ТП.

Асинхронный электродвигатель подключается к преобразователю частоты ПЧ.

Собственно преобразователь частоты запитывается напряжением 3x380В от модуля питания через измеритель мощности (МИМ).



Рисунок 8.1 – Схема для снятия характеристик системы ПЧ-АД

**Ход работы**

1. Семейство характеристик системы в режиме скалярного управления

Скалярное управление в системе ПЧ-АД сводится к управлению по закону U/f=const, при котором критический момент асинхронного двигателя при регулировании частоты вращения держится постоянным.

Для переведения преобразователя в данный режим выполнить следующие действия:

– сбросить настройки на заводские и запрограммировать преобразователь на режим регулирования скорости;

– в параметре 0.49 установить значение L2 – это откроет доступ ко всем параметрам ПЧ;

– установить параметр 5.27=OFF (режим компенсации скольжения отключен).

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включением автоматического выключателя QF1 МПС подать напряжение на стенд;

–включением автоматического выключателя QF2 МП подать напряжение на преобразователь частоты;

– включить кнопку "Сеть" модуля ТП;

– подать разрешение на работу ПЧ и, выбрав направление вращения асинхронного электродвигателя переключателем SA1 модуля ПЧ, задать потенциометром RP1 выходную частоту преобразователя 50Гц;

– подать разрешение на работу модуля ТП (тумблер SA6);

– зафиксировав необходимые величины согласно таблице 8.1, задать момент нагрузки. Таким образом снять несколько точек в двигательном и генераторном режимах;

– после проведения опыта вывести момент нагрузки на ноль (RP1 модуля ТП), убрать разрешение на работу ТП, остановить асинхронный электродвигатель.

Напряжение статора можно смотреть на экране ПЧ (параметр 5.02), ток статора смотреть в параметре 4.01.

Таблица 8.1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| UС, В |  |  |  |  |  |  |
| IC, А |  |  |  |  |  |  |
| UЯ, В |  |  |  |  |  |  |
| IЯ, А |  |  |  |  |  |  |
| n, об/мин |  |  |  |  |  |  |
| UВХ, В |  |  |  |  |  |  |
| IВХ, А |  |  |  |  |  |  |
| PВХ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| SC, ВА |  |  |  |  |  |  |
| ω, 1/с |  |  |  |  |  |  |
| ΔPЭЛ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| ΔPЯ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| PЯ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| PВ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| PC, Вт |  |  |  |  |  |  |
| ηАД |  |  |  |  |  |  |
| ηПЧ-АД |  |  |  |  |  |  |
| cos(φ)АД |  |  |  |  |  |  |
| cos(φ)ПЧАД |  |  |  |  |  |  |
| МВ, Н∙м |  |  |  |  |  |  |

Повторить опыт для двух других значений частоты на выходе преобразователя.

2.Регулировочные характеристики

Регулировочные характеристики представляют собой зависимости выходной частоты, напряжения, мощности от сигнала задания при постоянном моменте на валу двигателя: f, UC, P, S = f(UЗ), МВ=сonst.

Для снятия характеристик необходимо:

– установить выходную частоту преобразователя частоты 60 Гц (параметр 0.02=60);

– задав нагрузку с помощью тиристорного преобразователя (значение IЯ задается преподавателем и выбирается в пределах 0…1А), уменьшать выходную частоту ПЧ, фиксируя необходимые параметры. Сигнал задания (параметр 7.01) отображается в процентах от максимального сигнала (10В). Выходная частота отображается в параметре 5.01.

Результаты опыта занести в таблицу 8.2.

Расчетные данные.

Полная выходная мощность преобразователя частоты, ВА

,

где UСФ – фазное напряжение на выходе ПЧ, В.

Частота вращения электродвигателя, 1/с

.

Электрические потери в статорной обмотке электродвигателя, Вт

,

где rС – активное сопротивление фазы статора, Ом.

Электрические потери в цепи якоря ДПТ, Вт

,

где rя – активное сопротивление якорной обмотки ДПТ, Ом.

Выходная мощность ТП, Вт

.

Мощность на валу асинхронного электродвигателя, Вт:

,

где ΔPМЕХ.ДПТ – механические потери ДПТ (Приложение Б).

Активная выходная мощность ПЧ, Вт

,

где ΔPМЕХ.АД – механические потери АДКЗ (Приложение Б).

Коэффициент полезного действия электродвигателя:

.

Cosφ асинхронного двигателя

.

Коэффициент полезного действия системы

.

Cosφ системы

.

Момент на валу асинхронного двигателя, Н∙м:

.

Таблица 8.2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| IЯ= | | | | | | |
| UВХ, В |  |  |  |  |  |  |
| f, Гц |  |  |  |  |  |  |
| UС, В |  |  |  |  |  |  |
| IC, А |  |  |  |  |  |  |
| UЯ, В |  |  |  |  |  |  |
| n, об/мин |  |  |  |  |  |  |
| UВХ, В |  |  |  |  |  |  |
| IВХ, А |  |  |  |  |  |  |
| PВХ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| SC, ВА |  |  |  |  |  |  |
| ω, 1/с |  |  |  |  |  |  |
| ΔPЭЛ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| ΔPЯ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| PЯ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| PВ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| PC, Вт |  |  |  |  |  |  |
| ηАД |  |  |  |  |  |  |
| ηПЧ-АД |  |  |  |  |  |  |
| cos(φ)АД |  |  |  |  |  |  |
| cos(φ)ПЧАД |  |  |  |  |  |  |
| МВ, Н∙м |  |  |  |  |  |  |

3. Исследование режима компенсации скольжения

Компенсация скольжения представляет собой способ стабилизации частоты вращения электродвигателя при изменении нагрузки на валу за счет повышения частоты на выходе преобразователя применением внутренней положительной обратной связи по току статора.

Перед проведением опыта включить режим компенсации скольжения:

– параметр 5.27=ON;

Снять статические характеристики ω, I1=f(Mв) аналогично предыдущим опытам, сделать выводы.

4. Исследование способов торможения электродвигателя

Преобразователь частоты имеет возможность совершать различные способы торможения электродвигателя в зависимости от требования технологического процесса. В процессе работы рекомендуется опробовать следующие способы торможения электродвигателя:

– остановка на выбеге;

– остановка с заданным темпом;

– торможение с подпиткой постоянным током.

В данном опыте требуется заснять процессы торможения.

Торможение на выбеге включается установкой параметра 6.01=Coast.

Торможение с заданным темпом включается установкой параметра 6.01=rp. Время торможения задается параметром 0.04 и варьируется в пределах 0…3200с.

Торможение с подпиткой постоянным током включается установкой в параметре 6.01 значения rp.dc1. Необходимо задать ток торможения (6.06) в процентах от номинального тока инвертора (0…150%), длительность торможения постоянным током (6.07) от 0 до 25с.

Для проведения опыта необходимо разогнать двигатель до 50Гц, затем перевести переключатель SA1 модуля ПЧ в среднее положение. Происходит торможение по запрограммированному закону.

Рекомендуется нанести осциллограммы торможения на одной сетке и оценить различия переходных процессов.

**Контрольные вопросы**

1. Какие способы регулировки частоты вращения асинхронных электродвигателей вы знаете?

2. С какой целью при регулировании частоты вращения изменяются одновременно частота и напряжение на выходе преобразователя?

3. Укажите достоинства и недостатки применения частотного регулирования?

4. Объясните работу преобразователя в тормозном режиме. Где рассеивается энергия торможения двигателя?

**Работа №9. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ВНЕШНИМКОНТУРОМ СКОРОСТИ**

**Цель работы**

Изучение методики настройки регуляторов системы подчиненного регулирования тиристорного электропривода.

Изучение статических и динамических характеристик тиристорного электропривода с подчиненным регулированием.

В результате выполнения работы студент должен:

**знать** – характеристики тиристорного электропривода с подчиненным регулированием;

**уметь** – настраивать регуляторы и снимать характеристики тиристорного электропривода.

**Пояснения к работе**

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

– отключить кнопку «Сеть» модуля ТП, тумблер SA6 «Разрешение» установить в нижнее положение, тумблер SA2 перевести в положение «Скорость», тумблер SA4 перевести в положение «П»;

– переключатель SA1 модуля ПЧ установить в среднее положение, SA3 – в нижнее положение, потенциометр RP1 – в крайнее левое положение;

– тумблер SA1 модуля МР перевести в среднее положение, переключатели SA2, SA4, SA5, SA6 установить в положение «0», потенциометры RP1 и RP2 установить в нулевое положение (крайнее левое), SA3 – установить в максимальное положение;

– переключатель SA1 МДС1 установить в положение «0».

Для проведения работы на персональном компьютере запустить программу Labdrive и выбрать соответствующую работу.

Описание программного обеспечения Labdrive и LabShow приведено в приложениях Г,Д.

Модуль регуляторов (МР), используемый для реализации системы подчиненного регулирования, включает в себя три операционных усилителя DА1, DА2 и DА3.

На DА1 реализован задатчик интенсивности ЗИ. Потенциометром RP1 изменяется уровень напряжения на выходе ЗИ, потенциометром RP2 – темп изменения этого напряжения. Трехпозиционный переключатель SА1 обеспечивает изменение полярности напряжения на входе ЗИ и отключение питания RP1.

На DА2 реализуется ПИ-регулятор скорости (РС). Переключателями SА2 и SА4 изменяются параметры регулятора. Звено AQ1 ограничивает уровень выходного напряжения РС, которое является заданием для регулятора тока (РТ). Уровень максимального выходного напряжения РС устанавливается переключателем SА3.

На DА3 реализуется РТ. Переключателями SА5 и SА6 изменяются параметры РТ. Выходное напряжение РТ является напряжением управления Uу тиристорного преобразователя ТП.

**Ход работы**

1. Регулировочная характеристика разомкнутой системы

Регулировочная характеристика представляет собой зависимость частоты вращения от сигнала задания: n = f(UЗ).

Схема для снятия регулировочной характеристики представлена на рисунке 9.1.

Выход сигнала задания UЗ модуля МР подключаются к входу А4, модуля МВВ, выходы контура скорости UРС и контура тока UРТ подключаются к входам D1 и D2 соответственно.

Для измерения UЗ, UРС и UРТ используется компьютер.

Значение частоты вращения n наблюдать на индикаторе модуля СМ.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автомат QF1 модуля МПС;

– установить приближенные единичные коэффициенты усиления контуров скорости и тока. Для этого переключатель SA1 модуля МР перевести в любое крайнее положение, потенциометром RP1 задать сигнал, отличный от нуля. Изменяя переключатель SA2, получить приблизительно единичный коэффициент усиления контура скорости, изменяя переключатель SA6, получить приблизительно единичный коэффициент усиления контура тока, SA1 установить в среднее положение, RP1 установить в нулевое положение;



Рисунок 9.1 – Схема для снятия регулировочной характеристики разомкнутой системы

– включить кнопку «Сеть» модуля ТП, тумблер SA6 «Разрешение» перевести в верхнее положение;

– тумблер SA1 модуля МР перевести в любое крайнее положение;

– потенциометром RP1 модуля МР задавать входной сигнал. Данные снимаются как на увеличение сигнала задания, так и на уменьшение.

Данные опыта записать в таблицу 9.1.

Таблица 9.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| UЗ, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| n, об/мин |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

После проведения опыта установить все переключатели модулей в исходное состояние.

2. Настройка контура регулирования тока

Настройка контура тока осуществляется при заторможенном двигателе.

Торможение двигателя осуществляется путем установки металлического стержня в отверстие полумуфты.

Схема настройки контура тока представлена на рисунке 9.2.



Рисунок 9.2 – Схема настройки контура тока

Последовательно в цепь между ТП и якорем ДПТ для ограничения бросков тока включено регулируемое сопротивление RР1 модуля МДС1. Оно включается только при настройке системы и затем устанавливается переключателем SА1 на нулевое значение.

Настройка замкнутого контура регулирования тока якоря сводится к экспериментальному подбору оптимальных величин параметров ПИ-регулятора тока.

Сигнал обратной связи контура тока UДТ подключается к входу А2 модуля МВВ.

Значение тока якоря IЯ наблюдать на компьютере.

2.1. Определение знака обратной связи контура тока

Опыт проводится в следующей последовательности:

– переключателем SA1 модуля МДС1 ввести добавочное сопротивление (50-100 Ом);

– включить выключатель QF1 модуля МПС;

– включить кнопку «Сеть» модуля ТП, тумблер SA6 «Разрешение» перевести в верхнее положение;

– тумблером SA2 модуля МР задать единичный коэффициент усиления контура скорости;

– тумблер SA1 модуля МР перевести в любое крайнее положение;

– плавным изменением потенциометра RP1 модуля МР установить ток якорной цепи ДПТ (0,2…0,3А);

– кратковременно подключить выход ДТ модуля ТП к клемме Х7 модуля МР, если при этом ток якоря уменьшится, то обратная связь по току отрицательная. В противном случае обратная связь положительная.

– потенциометром RP1 модуля МР установить ток якоря равным нулю;

– переключателем SA1 модуля МДС1 установить сопротивление RP1 равным нулю.

2.2 Настройка П-регулятора контура тока

Настройку производить по переходной функции замкнутого контура, начиная с минимального значения коэффициента усиления пропорционального канала РТ. Скачок входного сигнала удобнее создавать тумблером SА1 модуля МР. При этом постоянная времени ЗИ минимальна, а РС – пропорциональный.

Уставку задания следует принять такой, чтобы ток якоря на установившемся участке переходной функции не превышал 0,25IЯН (Приложение Б). Выходную координату следует наблюдать на выходе ДТ с помощью компьютера.

Критерием оптимизации переходной функции принимается минимум перерегулирования и максимум быстродействия контура регулирования тока.

Зафиксировать полученные в ходе настройки оптимальное значение П-регулятора тока. Снять осциллограмму IЯ (t) при скачке задания тока.

2.3 Настройка И-регулятора контура тока

Настройку производить по переходной функции замкнутого контура. Для этого следует ввести с помощью переключателя SА6 конденсатор в цепь обратной связи РТ. Сняв серию переходных функций замкнутого контура регулирования тока с ПИ-регулятором тока, выбрать оптимальное значение емкости конденсатора.

Зафиксировать полученные в ходе настройки оптимальные значения R6 и С2. Снять осциллограмму IЯ (t) при скачке задания тока.

Переключатель SA6 «Разрешение» модуля ТП перевести в нижнее положение.

2.4 Настройка блока ограничения

Установить ток упора ДПТ в пределах (1…1,3)IЯН (в соответствии с указанием преподавателя).

Настройка блока ограничения проводится в следующей последовательности:

– переключатель SA4 установить в положение «1»;

– с помощью переключателя SА3 установить минимальный уровень насыщения РС;

– переключатель SA6 «Разрешение» перевести в верхнее положение;

– с помощью RР1 подать на вход РС максимальный входной сигнал;

– увеличивая постепенно переключателем SА3 выходное напряжение РС, установить заданный ток якоря ДПТ.

В дальнейшем уставку блока ограничения AQ1 изменять не следует. Потенциометр RР1 поставить на минимум снимаемого напряжения.

Тумблер SA1 установить в среднее положение. Переключатель SA2 установить в положение «0». Тумблер SA6 «Разрешение» модуля ТП установить в нижнее положение. Отключить кнопку «Сеть» модуля ТП.

После настройки контура тока из агрегата удалить металлический стержень.

3. Настройка контура скорости

Настройка контура скорости производится на холостом ходу.

Настройка замкнутого контура регулирования скорости сводится к экспериментальному подбору оптимальных величин параметров R3 и С1.

Сигнал обратной связи контура скорости подключается к входу А3 модуля МВВ (на рисунке не показан).

Значение частоты вращения наблюдать на компьютере, а также на индикаторе модуля СМ.

Схема настройки контура скорости представлена на рисунке 9.3.



Рисунок 9.3 – Схема настройки контура скорости

3.1 Определение знака обратной связи контура скорости

Опыт проводится в следующей последовательности:

– запомнив положение переключателя SA6, вывести его в положение «0»;

– переключатель SA2 модуля МР перевести в положение «1»;

– включить кнопку «Сеть» модуля ТП, SA6 «Разрешение» перевести в верхнее положение;

– тумблер SA1 модуля МР установить в любое крайнее положение;

– плавно изменяя потенциометр RP1 модуля МР установить в режиме холостого хода частоту вращения ДПТ в пределах 0,2…0,3 от номинальной частоты вращения (Приложение Б);

– кратковременно подключить перемычку с выхода ПЧН модуля СМ к клемме Х4 модуля МР, если частота вращения двигателя уменьшилась, то обратная связь по скорости отрицательная. В противном случае необходимо SA1 и RP1 модуля МР привести в исходное положение. Тумблер SA6 «Разрешение» модуля ТП перевести в нижнее положение, отключить кнопку «Сеть» модуля ТП. Изменить полярность подключения обмотки возбуждения;

– вновь повторить проверку знака обратной связи по скорости.

После определения знака обратной связи, вернуть переключатель SA6 в запомненное состояние.

3.2 Настройка П-регулятора контура скорости

Настройку проводить по переходной функции замкнутого контура регулирования скорости, начиная с минимального значения коэффициента усиления П-регулятора РС. Скачок входного сигнала РС удобнее создавать переключателем SА1. При этом постоянная времени ЗИ минимальна.

Выходную координату следует наблюдать на выходе ПЧН с помощью компьютера. Критерием оптимизации переходной функции принимается минимум перерегулирования и максимум быстродействия контура регулирования скорости.

Зафиксировать в ходе настройки различные значения R3. Снять осциллограмму n(t) при скачке значения скорости.

3.3 Настройка И-регулятора контура скорости

Для этого следует при помощи переключателя SА4 ввести конденсатор С в цепь обратной связи РС и, сняв серию переходных функций замкнутого контура регулирования скорости с ПИ-регулятором скорости, выбрать оптимальное значение емкости конденсатора.

При введении И-регулятора может возникнуть неустойчивость системы. При этом следует увеличить П-регулятор.

Зафиксировать выбранные в ходе настройки значения R3 и С1. Снять осциллограмму n(t) при скачке значения скорости.

3.4 Настройка задатчика интенсивности

Настройка ЗИ сводится к экспериментальному подбору такого темпа нарастания и спадания сигнала на выходе ЗИ, чтобы при разгоне электропривода от нуля до номинального значения скорости вращения ДПТ динамическая составляющая тока якоря не превышала (0,4…0,6)IЯН. Установка желаемого темпа нарастания и спадания выходного сигнала ЗИ осуществляется при помощи потенциометра RР2. В дальнейшем уставку темпа разгона привода в задатчике интенсивности изменять не следует.

После настройки контуров следует тумблер SA1 модуля МР установить в среднее положение. Потенциометр RP1 Модуля МР установить в положение «0». Отключить тумблер SA6 «Разрешение» модуля ТП, отключить кнопку «Сеть» модуля ТП. Выключить автомат QF2 модуля МП.

4. Регулировочные характеристики замкнутой системы

Схема для исследования замкнутой системы представлена на рисунке 9.4.



Рисунок 9.4 – Схема для исследования замкнутой системы

Регулировочные характеристики настроенной замкнутой системы электропривода снимаются при фиксированном моменте статической нагрузки Мс = const. Момент статический пропорционален току якоря. Изменяя потенциометром RР1 напряжение на входе ЗИ, экспериментально снять следующие характеристики:

– частоты вращения ДПТ n = f(UЗ);

– тока якоря ДПТ IЯ = f(UЗ);

– напряжение на выходе РС UРС = f(UЗ);

– напряжение на выходе РТ UРТ = f(UЗ).

Нагрузка задается асинхронным электродвигателем, который подключен к преобразователю частоты.

Сигнал задания UЗ, напряжение на выходах РС UРС и РТ UРТ, ток якоря IЯ, ток статора IС и частота вращения n измеряются компьютером.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автоматы QF1 и QF2 модулей МПС и МП соответственно;

– преобразователь частоты перевести в режим регулирования момента;

– включить кнопку «Сеть» модуля ТП, SA6 «Разрешение» перевести в верхнее положение;

– SA1 модуля МР перевести в крайнее положение, потенциометром RP1 задать частоту вращения (800…1000 об/мин);

– установить SA3 модуля ПЧ в верхнее положение и тумблером SA1 модуля выбрать направление вращения. Потенциометром RP1 задать ток нагрузки (0,2…0,7А);

– изменяя потенциометром RР1 напряжение на входе ЗИ, снять характеристики.

Данные занести в таблицу 9.2

Таблица 9.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| UЗ, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| n, об/мин |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| IЯ, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| UРС, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| UРТ, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| IС, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

После проведения опыта тумблер SA1 модуля ПЧ установить в среднее положение, потенциометр RP1 модуля ПЧ установить в положение «0», SA3 установить в нижнее положение.

Потенциометр RP1 модуля МР установить в положение «0», тумблер SA1 модуля МР установить в среднее положение.

5. Пуск электропривода в замкнутой системе

В настроенной системе электропривода снять осциллограммы пуска электропривода на холостом ходу до скорости, задаваемой преподавателем:

– тока якоря ДПТ IЯ=f(t);

– частоты вращения ДПТ n=f(t).

Пуск электропривода удобнее создавать переключателем SА1 модуля МР

Опыт проводится в следующей последовательности:

– тумблер SA1 модуля МР перевести в любое крайнее положение;

– потенциометром RP1 модуля МР задать частоту вращения (указывается преподавателем);

– тумблер SA1 перевести в среднее положение;

– переведя тумблер SA1 в любое крайнее положение, осуществить пуск электропривода.

При обработке осциллограмм пуска электропривода определить и указать показатели процесса:

– максимальное значение тока якоря при разгонеIЯМ;

– время достижения максимума tМ;

– время переходного процесса разгона электропривода tПП.

Данные занести в таблицу 9.3

Таблица 9.3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| IЯМ | tМ | tПП |
| А | с | с |
|  |  |  |

6. Механические характеристики замкнутой системы

Механические и электромеханические характеристики в настроенной системе электропривода снимаются как в двигательном, так и в рекуперативном режимах работы ДПТ. При работе ДПТ в двигательном режиме АД включается на направление вращения встречно вращению ДПТ, при работе ДПТ в режиме рекуперативного торможения – согласно с вращением ДПТ. Характеристики снимаются при двух сигналах задания, величина которых задается преподавателем.

Момент статический пропорционален току якоря.

Экспериментально снять статические характеристики электропривода:

– механическую n = f(MС);

– электромеханическую n = f(IЯ);

– внешнюю UЯ = f(MС);

– регуляторные UРС = f(MС), UРТ = f(MС).

Опыт проводится в следующей последовательности:

– тумблер SA1 модуля МР перевести в крайнее положение, потенциометром RP1 установить частоту вращения в диапазоне 800…1200 об/мин;

– перевести SA3 в верхнее положение и тумблером SA1 модуля выбрать направление вращения;

– потенциометром RP1 модуля ПЧ задавать момент нагрузки.

Данные занести в таблицу 9.4

Таблица 9.4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| МС, Н·м |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| n, об/мин |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| IЯ, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| UЯ, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| UРС, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| IC, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

После проведения опыта потенциометр RP1 модуля ПЧ установить в положение «0», тумблер SA1 модуля ПЧ в среднее положение, убрать разрешение на работу ПЧ (SA3).

Тумблер SA1 модуля МР установить в среднее положение, потенциометр RP1 установить в положение «0».

Расчетные данные.

Момент статический, Н·м

,

,

где UН – номинальное напряжение ДПТ (Приложение Б);

ω0 – синхронная частота вращения ДПТ (Приложение Б).

7. Переходные процессы при приложении момента статической нагрузки

Наброс и снятие нагрузки осуществляется включением-выключением переключателя SА1 модуля ПЧ. Снять осциллограммы:

– тока якоря ДПТ IЯ=f(t*)*;

– частоты вращения ДПТ n*=*f(t).

Опыт проводится в следующей последовательности:

– тумблер SA1 модуля МР установить в любое крайнее положение;

– потенциометром RP1 задать частоту вращения (указывается преподавателем);

– переключатель SA3 модуля ПЧ установить в верхнее положение, а переключатель SA1 перевести в крайнее положение;

– потенциометром RP1 модуля ПЧ задать ток нагрузки;

– включением-выключением переключателя SА1 модуля ПЧ осуществлять наброс и снятие нагрузки.

При осциллографировании фиксировать значения регистрируемых величин в установившихся режимах для определения их масштабов на осциллограммах.

При обработке осциллограмм переходных процессов при скачкообразном приложении МС определить и указать показатели процесса:

– динамическое падение скорости ΔnП в переходном процессе;

– время tМ достижения скоростью величины ΔnП;

– время переходного процесса tП;

– максимум тока якоря во время процесса IЯМ.

Данные занести в таблицу 9.5

Таблица 9.5

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Δnп | tМ | tП | IЯМ |
|  | с | с | А |
|  |  |  |  |

После проведения опытов установить все переключатели модулей в исходное состояние.

Отключить автоматы QF2 и QF1 модулей МП и МПС соответственно.

**Контрольные вопросы**

1. С какой целью и на каких этапах исключаются конденсаторы С в регуляторах РС и РТ?

2. С какой целью и на каких этапах настройки системы электропривода в цепь якоря ДПТ вводится добавочный резистор модуля добавочных сопротивлений №2?

3. При каких настройках отключается возбуждение ДПТ?

4. Как определить знак обратной связи по току в контуре тока?

5. Как определить знак обратной связи по скорости в контуре регулирования скорости?

6. Как экспериментально на стенде выставить и проверить величину коэффициента усиления П-канала регулятора?

7. С какой целью статическая характеристика регулятора скорости выполнена с насыщением?

8. Какие показатели процессов нужно обеспечить при настройке регулятора тока?

9. Какие показатели процессов нужно обеспечить при настройке регулятора скорости?

10. С помощью каких узлов формируется прямоугольная токовая диаграмма при разгоне лабораторного электропривода?

11. Как выставить требуемую величину тока упора ДПТ?

**Работа №10. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ВНЕШНИМКОНТУРОМ НАПРЯЖЕНИЯ**

**Цель работы**

Изучение методики настройки регуляторов системы подчиненного регулирования тиристорного электропривода.

Изучение статических и динамических характеристик тиристорного электропривода с подчиненным регулированием. В результате выполнения работы студент должен:

**знать** – характеристики тиристорного электропривода с подчиненным регулированием;

**уметь** – настраивать регуляторы и снимать характеристики тиристорного электропривода. **Пояснения к работе**

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

– отключить кнопку «Сеть» модуля ТП, тумблер SA6 «Разрешение» установить в нижнее положение, тумблер SA2 перевести в положение «Скорость», тумблер SA4 перевести в положение «П», SA3 – в положение «Руч»;

– переключатель SA1 модуля ПЧ установить в среднее положение, потенциометр RP1 – в крайнее левое положение, SA3 – в нижнее положение;

– тумблер SA1 модуля МР перевести в среднее положение, переключатели SA2, SA4, SA5, SA6 установить в положение «0», потенциометры RP1 и RP2 установить в нулевое положение (крайнее левое), SA3 – установить в максимальное положение;

– переключатель SA1 МДС1 установить в положение «0».

Для проведения работы на персональном компьютере запустить программу Labdrive и выбрать соответствующую работу.

Описание программного обеспечения Labdrive и LabShow приведено в приложениях Г,Д.

Модуль регуляторов (МР), используемый для реализации системы подчиненного регулирования, включает в себя три операционных усилителя DА1, DА2 и DА3.

На DА1 реализован задатчик интенсивности ЗИ. Потенциометром RP1 изменяется уровень напряжения на выходе ЗИ, потенциометром RP2 – темп изменения этого напряжения. Трехпозиционный переключатель SА1 обеспечивает изменение полярности напряжения на входе ЗИ и отключение питания RP1.

На DА2 реализуется ПИ-регулятор напряжения РН. Переключателями SА2 и SА4 изменяются параметры регулятора. Звено AQ1 ограничивает уровень выходного напряжения РН, которое является заданием для регулятора тока РТ. Уровень максимального выходного напряжения РН устанавливается переключателем SА3.

На DА3 реализуется РТ. Переключателями SА5 и SА6 изменяются параметры РТ. Выходное напряжение РТ является напряжением управления Uу тиристорного преобразователя ТП.

Для комплексов с ручным управлением при выполнении данной работы необходимо использовать осциллограф (в состав комплекса не входит), который подключается к клеммам Х1, Х2, Х4, Х5, Х7, Х8 модуля регуляторов.

**Ход работы**

1. Регулировочная характеристика разомкнутой системы

Регулировочная характеристика представляет собой зависимость напряжения якоря ДПТ от сигнала задания: UЯ = f(UЗ).

Схема для снятия регулировочной характеристики представлена на рисунке 10.1.

Выход сигнала задания UЗ модуля МР подключаются к входу А4, модуля МВВ (на рисунке не показан), выходы контура напряжения UРН и контура тока UРТ подключаются к входам D1 и D2 соответственно.

Для измерения UЗ, UРН и UРТ используется компьютер.

Напряжения якоря UЯ наблюдать на индикаторе модуля ТП.

Значение частоты вращения n наблюдать на индикаторе модуля СМ.



Рисунок 10.1 – Схема для снятия регулировочной характеристики

разомкнутой системы

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автоматический выключатель QF1 модуля МПС;

– определить единичные коэффициенты усиления контуров напряжения и тока.

Переключатель SA1 модуля МР перевести в любое крайнее положение, потенциометром RP1 задать сигнал, изменяя переключатель SA2, получить приблизительно единичный коэффициент усиления контура напряжения, изменяя переключатель SA6, получить приблизительно единичный коэффициент усиления контура тока, SA1 установить в среднее положение, RP1 установить в нулевое положение;

– включить кнопку «Сеть» модуля ТП, тумблер SA6 «Разрешение» перевести в верхнее положение;

– тумблер SA1 модуля МР перевести в любое крайнее положение;

– потенциометром RP1 модуля МР задавать входной сигнал;

Данные снимаются как на увеличение сигнала задания, так и на уменьшение.

Данные опыта записать в таблицу 10.1.

Таблица 10.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| UЗ, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| UЯ, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

После проведения опыта установить все переключатели модулей в исходное состояние.

2. Настройка контура тока

Настройка контура тока осуществляется при заторможенном двигателе.

Схема настройки контура тока представлена на рисунке 10.2.



Рисунок 10.2 – Схема настройки контура тока

Торможение двигателя осуществляется путем установки металлического стержня в отверстие полумуфты.

Последовательно в цепь между ТП и якорем ДПТ для ограничения бросков тока включено регулируемое сопротивление RР1 модуля МДС1. Оно включается только при настройке системы и затем устанавливается переключателем SА1 на нулевое значение.

Настройка замкнутого контура регулирования тока якоря сводится к экспериментальному подбору оптимальных величин параметров ПИ-регулятора цепи обратной связи РТ.

Сигнал обратной связи контура тока UДТ подключается к входу А2 модуля МВВ (на рисунке не показан).

Значение тока якоря IЯ наблюдать на компьютере.

2.1 Определение знака обратной связи контура тока

Опыт проводится в следующей последовательности:

– переключателем SA1 модуля МДС1 ввести добавочное сопротивление (50-100 Ом);

– включить автоматический выключатель QF1 модуля МПС;

– включить кнопку «Сеть» модуля ТП, тумблер SA2 «Разрешение» перевести в верхнее положение;

– тумблером SA2 модуля МР задать коэффициент усиления контура напряжения;

– тумблер SA1 модуля МР перевести в крайнее положение;

– плавным изменением потенциометра RP1 модуля МР установить ток якорной цепи ДПТ (0,2…0,3А).

– кратковременно подключить выход ДТ модуля ТП к клемме Х7 модуля МР, если при этом ток якоря уменьшится, то обратная связь по току отрицательная.

– потенциометром RP1 модуля МР установить ток якоря равным нулю;

– переключателем SA1 модуля МДС1 установить сопротивление RP1 равным нулю.

2.2 Настройка П-регулятора контура тока

Настройку производить по переходной функции замкнутого контура, начиная с минимального значения коэффициента усиления пропорционального канала РТ. Скачок входного сигнала удобнее создавать переключателем SА1. При этом постоянная времени ЗИ минимальна, а РН – пропорциональный.

Уставку задания следует принять такой, чтобы ток якоря на установившемся участке переходной функции не превышал 0,5 IЯН. Выходную координату следует наблюдать на выходе ДТ с помощью компьютера.

Критерием оптимизации переходной функции принимается минимум перерегулирования и максимум быстродействия контура регулирования тока.

Зафиксировать полученные в ходе настройки оптимальное значение П-регулятора тока. Снять осциллограмму IЯ (t) при скачке задания тока.

2.3 Настройка И-регулятора контура тока

Настройку производить по переходной функции замкнутого контура. Для этого следует ввести с помощью переключателя SА6 конденсатор в цепь обратной связи РТ. Сняв серию переходных функций замкнутого контура регулирования тока с ПИ-регулятором тока, выбрать оптимальное значение емкости конденсатора.

Зафиксировать полученные в ходе настройки оптимальные значения R6 и С2. Снять осциллограмму IЯ (t) при скачке задания тока.

Переключатель SA6 «Разрешение» модуля ТП перевести в нижнее положение.

2.4 Настройка блока ограничения

Установить ток упора ДПТ в пределах (1…1,3) IЯН (в соответствии с указанием преподавателя).

Настройка блока ограничения проводится в следующей последовательности:

– переключатель SA4 установить в положение «1»;

– с помощью переключателя SА3 установить минимальный уровень насыщения РН;

– переключатель SA6 «Разрешение» перевести в верхнее положение;

– с помощью RР1 подать на вход РН максимальный входной сигнал;

– увеличивая постепенно переключателем SА3 выходное напряжение РН, установить заданный ток якоря ДПТ.

В дальнейшем уставку блока ограничения AQ1 изменять не следует. Потенциометр RР1 поставить на минимум снимаемого напряжения.

Тумблер SA1 установить в среднее положение. Переключатель SA2 установить в положение «0». Тумблер SA6 «Разрешение» модуля ТП установить в нижнее положение. Отключить кнопку «Сеть» модуля ТП.

После настройки контура тока из агрегата удалить металлический стержень.

3 Настройка контура напряжения

Настройка контура напряжения производится на холостом ходу.

Настройка замкнутого контура регулирования напряжения сводится к экспериментальному подбору оптимальных величин параметров R3 и С1.

Сигнал обратной связи контура напряжения UДН подключается к входу А3 модуля МВВ (на рисунке не показан).

Значение частоты вращения наблюдать на индикаторе модуля СМ.

Схема настройки контура напряжения представлена на рисунке 10.3.



Рисунок 10.3 – Схема настройки контура напряжения

3.1 Определение знака обратной связи контура напряжения

Опыт проводится в следующей последовательности:

– запомнив положение переключателя SA6, вывести его в положение «0»;

– переключатель SA2 модуля МР перевести в положение «1»;

– включить кнопку «Сеть» модуля ТП, SA6 «Разрешение» перевести в верхнее положение;

– тумблер SA1 модуля МР установить в любое крайнее положение;

– плавно изменяя потенциометр RP1 модуля МР установить в режиме холостого хода напряжения якоря ДПТ в пределах 0,2…0,3 от номинального напряжения (Приложение Б);

– кратковременно подключить перемычку с выхода ДН модуля ТП к клемме Х4 модуля МР, если напряжение якоря двигателя уменьшилась, то обратная связь по напряжению отрицательная.

3.2 Настройка П-регулятора контура напряжения

Настройку проводить по переходной функции замкнутого контура регулирования напряжения, начиная с минимального значения коэффициента усиления П-канала РН. Скачок входного сигнала РН удобнее создавать переключателем SА1. При этом постоянная времени ЗИ минимальна.

Выходную координату следует наблюдать на выходе ДН с помощью компьютера. Критерием оптимизации переходной функции принимается минимум перерегулирования и максимум быстродействия контура регулирования напряжения.

Зафиксировать в ходе настройки различные значения R3. Снять осциллограмму UЯ(t) при скачке значения напряжения.

3.3 Настройка И-регулятора контура напряжения

Для этого следует при помощи переключателя SА4 ввести конденсатор С в цепь обратной связи РН и, сняв серию переходных функций замкнутого контура регулирования напряжения с ПИ-регулятором напряжения, выбрать оптимальное значение емкости конденсатора.

При введение И-регулятора система может стать неустойчивой. При неустойчивой работе системы следует увеличить коэффициент П-регулятора.

Зафиксировать выбранные в ходе настройки значения R3 и С1. Снять осциллограмму UЯ(t) при скачке значения напряжения.

3.4 Настройка задатчика интенсивности

Настройка ЗИ сводится к экспериментальному подбору такого темпа нарастания и спадания сигнала на выходе ЗИ, чтобы при разгоне электропривода от нуля до номинального значения скорости вращения ДПТ динамическая составляющая тока якоря не превышала (0,4…0,6)IЯН. Установка желаемого темпа нарастания и спадания выходного сигнала ЗИ осуществляется при помощи потенциометра RР2. В дальнейшем уставку темпа разгона привода в задатчике интенсивности изменять не следует.

После настройки контуров следует отключить тумблер SA6 «Разрешение» модуля ТП. Тумблер SA1 модуля МР установить в среднее положение. Потенциометр RP1 Модуля МР установить в положение «0»

4 Регулировочные характеристики замкнутой системы

Схема для исследования замкнутой системы представлена на рисунке 10.4.



Рисунок 10.4 – Схема для исследования замкнутой системы

Регулировочные характеристики настроенной замкнутой системы электропривода снимаются при фиксированном моменте статической нагрузки Мс = const. Момент статический пропорционален току якоря. Изменяя потенциометром RР1 напряжение на входе ЗИ, экспериментально снять следующие характеристики:

– напряжения якоря ДПТ UЯ = f(UЗ);

– частоты вращения ДПТ n = f(UЗ);

– тока якоря ДПТ IЯ = f(UЗ);

– напряжение на выходе РС UРС = f(UЗ);

– напряжение на выходе РТ UРТ = f(UЗ).

Нагрузка задается асинхронным электродвигателем, который подключен к преобразователю частоты.

Сигнал задания UЗ, напряжение на выходах РН UРН и РТ UРТ, ток якоря IЯ, напряжения якоря UЯ и ток статора IС измеряются компьютером.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– включить автоматы QF1 и QF2 модулей МПС и МП соответственно;

– преобразователь частоты перевести в режим регулирования момента;

– включить кнопку «Сеть» модуля ТП, SA6 «Разрешение» перевести в верхнее положение;

– SA1 модуля МР перевести в крайнее положение, потенциометром RP1 задать напряжение якоря (100…200В);

– подать разрешение на работу ПЧ, тумблером SA1 модуля выбрать направление вращения, потенциометром RP1 задать ток нагрузки (0,2…0,7А);

– изменяя потенциометром RР1 напряжение на входе ЗИ, снять характеристики.

Данные занести в таблицу 10.2

Таблица 10.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| UЗ, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| n, об/мин |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| IЯ, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| UЯ, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| UРН, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| UРТ, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| IС, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

После проведения опыта тумблер SA1 модуля ПЧ установить в среднее положение, потенциометр RP1 модуля ПЧ установить в положение «0», SA3 установить в среднее положение.

Потенциометр RP1 модуля МР установить в положение «0», тумблер SA1 модуля МР установить в среднее положение.

5. Пуск электропривода в замкнутой системе

В настроенной системе электропривода снять осциллограммы пуска электропривода на холостом ходу до напряжения, заданного преподавателем:

– тока якоря ДПТ IЯ=f(t);

– напряжения якоря ДПТ UЯ=f(t).

Пуск электропривода удобнее создавать переключателем SА1 модуля МР.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– тумблер SA1 модуля МР перевести в любое крайнее положение;

– потенциометром RP1 модуля МР задать напряжения якоря (указывается преподавателем);

– тумблер SA1 перевести в среднее положение;

– переведя тумблер SA1 в любое крайнее положение, осуществить пуск электропривода.

При обработке осциллограмм пуска электропривода определить и указать показатели процесса:

– максимальное значение тока якоря при разгонеIЯМ;

– время достижения максимума tМ;

– время переходного процесса разгона электропривода tПП.

Данные занести в таблицу 10.3

Таблица 10.3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| IЯМ | tМ | tПП |
| А | с | с |
|  |  |  |

6. Механические характеристики замкнутой системы

Механические и электромеханические характеристики в настроенной системе электропривода снимаются как в двигательном, так и в рекуперативном режимах работы ДПТ. При работе ДПТ в двигательном режиме АД включается на направление вращения встречно вращению ДПТ, при работе ДПТ в режиме рекуперативного торможения – согласно с вращением ДПТ. Характеристики снимаются при двух сигналах задания, величина которых задается преподавателем.

Момент статический пропорционален току якоря

Экспериментально снять статические характеристики электропривода:

– механическую n = f(MС);

– электромеханическую n = f(IЯ);

– внешнюю UЯ = f(MС);

– регуляторные UРН = f(MС), UРТ = f(MС).

Опыт проводится в следующей последовательности:

– тумблер SA1 модуля МР перевести в крайнее положение, потенциометром RP1 установить напряжения якоря в диапазоне 100…200В;

– подать разрешение на работу ПЧ, тумблером SA1 модуля выбрать направление вращения;

– потенциометром RP1 модуля ПЧ задавать момент нагрузки.

Снять несколько точек, как в двигательном, так и в генераторном режимах.

Данные занести в таблицу 10.4

Таблица 10.4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| МС, Н·м |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| n, об/мин |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| IЯ, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| UЯ, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| UРН, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| UРТ В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

После проведения опыта потенциометр RP1 модуля ПЧ установить в положение «0», тумблер SA1 модуля ПЧ в среднее положение.

Тумблер SA1 модуля МР установить в среднее положение, потенциометр RP1 установить в положение «0».

Тумблер SA6 «Разрешение» модуля ТП установить в нижнее положение.

Расчетные данные.

Момент статический, Н·м

,

,

где UН – номинальное напряжение ДПТ (Приложение Б);

ω0 – синхронная частота вращения ДПТ (Приложение Б).

**Контрольные вопросы**

1. С какой целью и на каких этапах исключается И-канал в РН и РТ?

2. С какой целью и на каких этапах настройки системы электропривода в цепь якоря ДПТ вводится добавочный резистор?

3. При каких настройках отключается возбуждение ДПТ?

4. Как определить знак обратной связи по току и по напряжению?

5. Как определить знак обратной связи по напряжению в контуре регулирования напряжения?

6. Как экспериментально на стенде выставить и проверить величину коэффициента усиления П-канала регулятора?

7. Какие показатели процессов нужно обеспечить при настройке регулятора тока и регулятора напряжения?

8. Почему в системах чаще используют ПИ-регуляторы?

**Работа №11. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

**«ИСТОЧНИК ТОКА-ДВИГАТЕЛЬ»**

**Цель работы**

Изучение методики настройки регуляторов системы подчиненного регулирования «источник тока-двигатель» на базе тиристорного электропривода постоянного тока тиристорного электропривода.

Изучение статических и динамических характеристик системы. В результате выполнения работы студент должен:

**знать** – характеристики системы «источник тока – двигатель»;

**уметь** – настраивать регуляторы и снимать характеристики системы. **Пояснения к работе**

Перед проведением лабораторной работы необходимо привести модули в исходное состояние:

– отключить кнопку «Сеть» модуля ТП, тумблер SA6 «Разрешение» установить в нижнее положение, тумблер SA2 перевести в положение «Момент», тумблер SA4 перевести в положение «НМ», SA3 – в положение «Руч», потенциометр RP1 установить в крайнее положение против часовой стрелки;

– отключить кнопку «Сеть» модуля ТВ, вывести переключатели SA1-SA4, а также потенциометры RP1, RP2 в положение «0». Переключатель SA5 установить в нижнее положение, SA6 – в среднее положение;

– переключатель SA2 МДС2 установить в положение «1100».

Для проведения работы на персональном компьютере запустить программу Labdrive и выбрать соответствующую работу.

Описание программного обеспечения Labdrive и LabShow приведено в приложениях Г, Д.

В системе «источник тока-двигатель» используются два силовых преобразователя:

– тиристорный преобразователь для управления якорной цепью двигателя;

– тиристорный возбудитель для управления цепью возбуждения.

В данной системе якорный преобразователь поддерживает заданный ток якоря постоянным, а управление осуществляется через цепь возбуждения.

Для работы данной системы необходимо настроить три контура:

– контур тока якоря;

– контур тока возбуждения;

– контур скорости.

**Ход работы**

1 Настройка контура тока возбуждения

Для настройки контура тока возбуждения необходимо собрать схему, представленную на рисунке 11.1.



Рисунок 11.1 – Схема для настройки контура тока возбуждения

Обмотка возбуждения запитывается от модуля тиристорного возбудителя (ТВ), якорная цепь – от модуля тиристорного преобразователя (ТП).

1.1 Определение знака обратной связи

Для определения знака обратной связи регулятора тока возбуждения необходимо:

– включить автоматический выключатель QF1;

– включить кнопку «Сеть» модуля ТВ;

– установить переключатели SA1, SA3 регуляторов скорости и тока возбуждения ТВ в ненулевые позиции, потенциометр RP1 установить на максимум снимаемого напряжения.

– подать разрешение на работу ТВ и потенциометром RP2 установить ток возбуждения на уровне 0,1А. Если ток возбуждения слишком мал, необходимо выключить разрешение (SA5) и увеличить коэффициенты усиления регуляторов (SA1, SA3);

– соединить выход датчика тока возбуждения ТВ с клеммой X2 модуля и наблюдать ток возбуждения на экране компьютера, либо на индикаторе модуля. При присоединении отрицательной обратной связи ток возбуждения должен уменьшиться.

1.2 Настройка пропорционального канала регулятора тока

После определения знака обратной связи необходимо настроить пропорциональный канал регулятора тока возбуждения. Настройка П-канала заключается в подборе оптимального переходного процесса тока возбуждения при набросе задания. Оценивать параметры переходного процесса необходимо исходя из времени переходного процесса, величины перерегулирования и колебательности.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– установить минимальный коэффициент усиления П-канала (переключатель SA3);

– задав ток возбуждения на уровне 0,1А, установить переключатель SA6 ТВ в среднее положение;

– произвести наброс задания, переключив SA6 в одно из крайних положений. Одновременно наблюдать осциллограмму тока возбуждения на экране компьютера;

– если переходный процесс не оптимален, изменить величину коэффициента пропорционального усиления регулятора тока возбуждения (SA3) и зафиксировать переходный процесс.

**Внимание. Изменение коэффициента пропорционального усиления выполнять только при снятом разрешении на работу ТВ (SA5 в нижнее положение).**

1.3 Настройка интегрального канала регулятора тока

После настройки пропорционального коэффициента усиления необходимо настроить интегральный канал регулятора тока возбуждения. Интегральный канал предназначен для уменьшения статической ошибки. Настройка интегральной части регулятора осуществляется при настроенном пропорциональном коэффициенте усиления.

Настройка выполняется в следующей последовательности:

– ввести интегральную часть в контур тока возбуждения (переключатель SA4) и, произведя фиксацию переходного процесса тока возбуждения, оценить параметры процесса;

– если необходимо, изменить емкость в цепи обратной связи регулятора тока и зафиксировать переходный процесс;

– при введении интегральной части регулятора тока переходный процесс может получиться неустойчивым или колебательным. При этом следует увеличить коэффициент усиления П-канала регулятора.

**Внимание. Изменение постоянной времени интегрального канала выполнять только при снятом разрешении на работу ТВ (SA5 в нижнее положение).**

После настройки контура тока возбуждения убрать разрешение на работу ТВ (SA5).

2 Настройка контура тока якоря

После настройка контура тока возбуждения необходимо настроить контур тока якоря. Это необходимо для того, чтобы тиристорный преобразователь поддерживал необходимое значение тока якоря вне зависимости от режима работы привода.

В данной лабораторной работе для облегчения работы студента настройка контура тока якоря не выполняется. В тиристорном преобразователе используется внутренний контур тока. Для переведения ТП в режим поддержания тока якоря необходимо перевести его в режим регулирования момента (Приложение А).

После установки режима регулирования момента необходимо установить ток якоря:

– включением кнопки «Сеть» модуля ТП подать напряжение питания;

– подать разрешение на работу ТП и, выбрав любое направление вращения, задать потенциометром RP1 ток якоря на уровне 0,25…0,3А;

– перевести SA5 модуля в среднее положение и снять разрешение на работу ТП.

3 Настройка контура скорости

Для настройки контура скорости необходимо собрать схему, представленную на рисунке 11.2.



Рисунок 11.2 – Схема для настройки контура скорости

Настройка контура скорости заключается в подборе оптимальных величин коэффициента усиления и постоянной времени интегрирования регулятора скорости ТВ. При настройке необходимо руководствоваться желаемыми показателями качества переходного процесса скорости:

– минимальным временем переходного процесса;

– минимальным перерегулированием.

3.1 Определение знака обратной связи по скорости

Перед настройкой регулятора скорости необходимо завести отрицательную обратную связь на вход регулятора скорости. Для этого:

– включить кнопку «Сеть» модулей ТП и ТВ;

– подать разрешение на работу ТП (SA6) и установить ток якоря на уровне 0,25…0,3А;

– запомнить положение переключателя SA4 модуля ТВ и вывести его в положение «0»;

– подать разрешение на работу ТВ и, выбрав направление вращения, задать частоту вращения на уровне 150…200 об/мин потенциометром RP2;

– кратковременно соединить выход ПЧН силового модуля со входом X1 ТВ, одновременно наблюдая за частотой вращения двигателя. Если частота вращения увеличится, обратная связь положительна;

– при положительной обратной связи необходимо убрать разрешение на работу ТВ, поменять направление тока якоря (SA5 ТП), повторить опыт.

После определения знака обратной связи необходимо убрать разрешение на работу ТВ и установить запомненную ранее постоянную времени контура тока возбуждения (SA4).

3.2 Настройка П-канала контура скорости

Настройка контура скорости заключается в подборе оптимальной формы переходного процесса скорости при набросе сигнала задания.

Настойка П-канала производится в следующем порядке:

– подать разрешение на работу ТП (SA6) и установить номинальный ток якоря ДПТ (Приложение Б);

– установить минимальный коэффициент усиления П-канала регулятора скорости ТВ;

– подать разрешение на работу ТВ и, выбрав направление вращения, установить частоту вращения на уровне 150…200 об/мин;

– остановить ТВ установкой SA6 в среднее положение;

– произвести наброс сигнала задания (SA6), попутно фиксируя переходный процесс скорости;

– произвести анализ переходного процесса скорости и при необходимости повторить осциллографирование процесса пуска с другим значением коэффициента усиления П-канала.

После настройки П-канала остановить ТВ, не изменяя положение потенциометра RP2.

**Внимание. Изменение коэффициента пропорционального усиления выполнять только при снятом разрешении на работу ТВ (SA5 в нижнее положение).**

3.2 Настройка И-канала контура скорости

Интегральный канал служит для уменьшения статической ошибки по скорости при приложении нагрузки. Настройка производится при настроенном П-канале регулятора скорости.

Настойка И-канала производится в следующем порядке:

– подать разрешение на работу ТП (SA6) и установить номинальный ток якоря ДПТ (Приложение Б);

– задать максимальную постоянную времени регулятора скорости (SA2 в положение «0,5»);

– подать разрешение на работу ТВ и, выбрать направление вращения;

– остановить ТВ установкой SA6 в среднее положение;

– произвести наброс сигнала задания (SA6), попутно фиксируя переходный процесс скорости;

– произвести анализ переходного процесса скорости и при необходимости повторить осциллографирование процесса пуска с другим значением постоянной времени интегрирования;

– при настройке И-канала регулятора скорости может понадобиться увеличение коэффициента пропорционального усиления регулятора скорости.

**Внимание. Изменение постоянной времени И-канала производить только при снятом разрешении на работу ТВ (SA5 в нижнее положение).**

4 Снятие механической характеристики

Механическая характеристика системы «источник тока-двигатель» представляет собой зависимость частоты вращения двигателя от момента на валу.

Для снятия характеристики необходимо собрать схемы, представленную на рисунке 11.3.



Рисунок 11.3 – Схема для исследования системы «источник тока-двигатель»

Для снятия механической характеристики необходимо:

– включить автоматические выключатели QF1 и QF2 модулей питания и питания стенда;

– подав разрешение на ТП и ТВ, задать направление вращения ДПТ и установить частоту вращения 1000…1500 об/мин;

– выводя сопротивления МДС1 переключателем SA1, нагружать ДПТ, фиксируя показания в таблице 11.1.

После проведения опыта необходимо остановить привод, выключить автоматические выключатели QF1, QF2, поменять направление фаз на асинхронном электродвигателе и повторить опыт.

Таблица 11.1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| n, об/мин |  |  |  |  |  |  |
| IЯ, А |  |  |  |  |  |  |
| UЯ, В |  |  |  |  |  |  |
| IВ, А |  |  |  |  |  |  |
| UВ, В |  |  |  |  |  |  |
| ω, рад/с |  |  |  |  |  |  |
| PЯ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| ΔPЯ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| PВОЗБ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| ΔPВОЗБ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| PВ, Вт |  |  |  |  |  |  |
| МВ, Н∙м |  |  |  |  |  |  |

Расчетные данные.

Частота вращения электродвигателя, рад/с:



Выходная мощность ТП, Вт

PЯ=IЯ∙UЯ

Выходная мощность ТВ, Вт

PВ=UВОЗБ∙IВОЗБ.

Потери в якорной цепи, Вт

,

где rЯ – сопротивление якорной цепи ДПТ (Приложение Б), Ом.

Потери в цепи возбуждения, Вт

,

где rВ – сопротивление обмотки возбуждения (Приложение Б), Ом.

Мощность на валу двигателя, Вт

PВ=PЯ-ΔPЯ-ΔPМЕХ.ДПТ,

где ΔPМЕХ.ДПТ – механические потери двигателя постоянного тока (Приложение Б), Вт.

Момент на валу двигателя, Н∙м

.

По результатам экспериментов и расчетов построить следующие зависимости:

– ω=f(МВ), IЯ=const;

– ω=f(IВ), IЯ=const;

– UЯ=f(MВ), IЯ=const.

**Контрольные вопросы**

1. Почему в системе «источник тока-двигатель» электродвигатель не уходит в разнос при нулевом токе возбуждения.

2. Диапазон допустимых нагрузок системы «источник тока-двигатель»?

3. Зачем необходимо охватывать якорную цепь тиристорного преобразователя обратной связью по току?

4. Назовите преимущества и недостатки системы «источник тока-двигатель» по сравнению с системой регулирования по якорной цепи.

5. Назовите пути улучшения энергетических характеристик системы «источник тока-двигатель».

**Работа № 12. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ»**

**Цель работы**

Изучить работу частотного преобразователя в замкнутой системе. Изучить методику настройки контуров регулирования тока и скорости замкнутой системы электропривода. Снять экспериментальные характеристики замкнутой по скорости системы ПЧ-АД.

В результате выполнения работы студент должен:

**знать** – характер работы частотного преобразователя в замкнутой системе;

**уметь** – настраивать регуляторы и снимать характеристики системы.

**Пояснения к работе**

Исследуемый асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором входит в состав электромашинного агрегата, включающего в себя собственно исследуемый двигатель М1, нагрузочную машину – двигатель постоянного тока независимого возбуждения – М2, импульсный датчик скорости М3.

Перед проведением работы при выключенных автоматических выключателях QF1 и QF2 модулей МПС и МП привести модули в исходное состояние:

– переключатель "Сеть" модуля ТП перевести в нижнее положение, тумблер SA3 – в положение «Руч», SA4 – в положение «НМ», SA6 – в нижнее положение, SA5 – в среднее положение;

– переключатель SA1 модуля ПЧ перевести в среднее положение, SA2 – в положение «Скорость», потенциометр RP1 – в крайнее положение против часовой стрелки, установить перемычку между клеммами XS1 и XS2 модуля, соединить специальным кабелем разъемы «ДС» модуля ПЧ и X1 силового модуля.

– собрать схему для исследования системы ПЧ-АД.

Схема для снятия характеристик системы ПЧ-АД приведена на рисунке 12.1.



Рисунок 12.1 – Схема для снятия характеристик системы ПЧ-АД

Двигатель постоянного тока (ДПТ) подключается к модулю тиристорного преобразователя (ТП). Якорная обмотка присоединяется к регулируемому источнику постоянного тока модуля ТП, Обмотка возбуждения – к выходам нерегулируемого источника напряжения =220В модуля ТП.

Тиристорный преобразователь должен быть переведен в режим регулирования момента.

Асинхронный электродвигатель подключается к преобразователю частоты через датчики тока и напряжения силового модуля.

Выходы датчиков тока и напряжения, а также ПЧН подключаются непосредственно к входам A1, A2, A3 модуля МВВ.

Выход датчика тока модуля ТП подключается к входу А4 модуля МВВ.

Преобразователь частоты запитывается напряжением 3x380В от модуля питания.

Для проведения работы на персональном компьютере должно быть загружено ПО Labdrive и лабораторная работа «Исследование замкнутой системы ПЧ-АД».

**Ход работы**

1. Подготовка частотного преобразователя для работы в замкнутой системе

В режиме замкнутой по скорости системы преобразователь частоты держит заданную частоту вращения электродвигателя, изменяя выходную частоту и напряжение в соответствии с сигналом по скорости, поступающим с импульсного датчика скорости, установленном на валу двигателя.

Для переведения ПЧ в данный режим необходимо:

– в параметре 0.00 вести значение 1233 (сброс параметров ПЧ на заводские настройки);

– установить переключатель SA3 «Разрешение» в положении 0;

– установить значение параметра 0.00 на 1253 (разрешение на изменение работы преобразователя);

– установить значение параметра 0.48 на CL.VECT (выбор режима работы преобразователя как замкнутой системы);

– нажать кнопку «Стоп-Сброс»;

– ввести паспортные данные исследуемого асинхронного электродвигателя (параметры 0.42–0.47) (Приложение Б);

– занести в параметр 0.49 значение L2 (разрешение просмотра всех параметров);

– нажать кнопку «Стоп-Сброс»;

– в параметр 03.34 занести количество импульсов на один оборот датчика скорости (500 имп/об);

– параметр 3.40 установить в «0»;

– выполнить автонастройку. В параметр 0.40 ввести значение «2» и установить тумблер SA3 – в положение «1», SA1 в положение «Вперед». Если появится сообщение tunE2, убрать разрешение на работу ПЧ и поменять местами фазы А и В электродвигателя, после чего нажать кнопку «Сброс». Повторить автонастройку.

2. Настройка ПИ-регулятора контура тока статора

Настройка замкнутого контура регулирования тока (КРТ) статора выполняется при заторможенном роторе электродвигателя. Торможение двигателя осуществляется путем установки металлического стержня полумуфту электромашинного агрегата.

2.1 Настройка П-регулятора контура тока

Настройку производить по переходной функции замкнутого контура, начиная с минимального значения коэффициента усиления пропорционального канала РТ.

Последовательность действий следующая:

– установить значение параметра 04.11 на 1 (разрешение регулирования момента);

– установить значение параметра 04.08 на 0 (задание момента в КРТ);

– установить значение параметра 04.14 на 0 (коэффициент усиления И–канала звена регулятора тока);

– установить значение параметра 04.13 на 50 (минимальный коэффициент усиления П–канала регулятора);

– включить переключатель SA3 «Разрешение» на лицевой панели модуля в положение «1»;

– включить переключатель SA1 в положение «Вперед»;

– установить значение параметра 04.08 на 100, задавая, таким образом, скачок задания на вход контура тока;

– на дисплее ПК наблюдать процесс нарастания момента (активного тока) двигателя;

– установить значение параметра 04.08 на 0;

– повторить пункты, установив другое значение параметра 04.13;

Критерием оптимизации переходной функции принимается минимум перерегулирования и максимум быстродействия контура регулирования тока.

Зафиксировать полученные в ходе настройки оптимальные значения П-регулятора тока. Снять осциллограмму IЯ(t) при скачке задания тока.

2.2 Настройка И-регулятора контура тока

Настройку производить по переходной функции замкнутого контура.

Последовательность действий следующая:

– установить значение параметра 04.08 на 0 (задание момента в КРТ);

– установить значение параметра 04.14 на 100 (минимальный коэффициент усиления И–канала регулятора тока);

– установить значение параметра 04.08 на 100, задавая, таким образом, скачок сигнала задания на вход контура тока;

– на дисплее ПК наблюдать процесс нарастания момента (активного тока) двигателя;

– установить значение параметра 04.08 на 0;

– повторить пункты, установив другое значение параметра 04.14.

Зафиксировать полученные в ходе настройки оптимальное значение. Снять осциллограмму IЯ (t) при скачке задания тока.

Переключатель SA3 «Разрешение» перевести в нижнее положение, SA1 – в среднее положение.

**После настройки контура тока из агрегата удалить металлический стержень и установить параметр 04.11=0.**

3. Настройка ПИ-регулятора контура регулирования скорости (частоты) вращения

Настройка контура скорости производится на холостом ходу.

Настройка замкнутого контура регулирования скорости сводится к экспериментальному подбору оптимальных величин параметров П-регулятора и И-регулятора.

Значение частоты вращения наблюдать на компьютере, а также на индикаторе модуля СМ.

3.1 Настройка П-регулятора контура скорости

Настройку производить по переходной функции замкнутого контура, начиная с минимального значения коэффициента усиления пропорционального канала РТ.

Последовательность действий следующая:

– в параметре 6.01 установить значение COAST (торможение на выбеге);

– установить значение параметра 03.16 на 0;

– установить значение параметра 0.08 (03.11) на 0 (коэффициент усиления И–канала регулятора скорости РС);

– установить значение параметра 0.09 (03.12) на 0 (коэффициент усиления Д–канала звена РС);

– установить коэффициент усиления П–канала звена РС на 0.0010 – параметр 0.07 (3.10);

– установить значение параметра 0.03, 0.04 на 0 (время разгона и торможения привода);

– включить переключатель SA3 «Разрешение» в положение «1»;

– включить переключатель SA1 в положение «Вперед»;

– потенциометром RP1 установить скорость вращения вала электродвигателя 0,1– 0,2 от номинальной;

– на дисплее ПК наблюдать процесс нарастания скорости двигателя. Подавая и снимая скачок задания скорости переключателем «Вперед», снять переходные процессы системы электропривода;

– подобрать и запомнить оптимальный коэффициент усиления П–канала звена РС с заданным уровнем вращения двигателя параметр 0.07 (3.10);

Зафиксировать в ходе настройки различные значения П-канала. Снять осциллограмму n(t) при скачке значения скорости.

Критерием оптимизации переходной функции принимается минимум перерегулирования и максимум быстродействия контура регулирования скорости.

3.1 Настройка И-регулятора контура скорости

Настройку производить по переходной функции скорости замкнутого контура.

Последовательность действий следующая:

– установить значение параметра 0.08 (03.11) на 0.10 (коэффициент усиления И–канала регулятора скорости РС);

– подавая и снимая скачок задания скорости переключателем «Вперед», снять переходные процессы системы электропривода;

Зафиксировать в ходе настройки различные значения ПИ-регулятора. Снять осциллограмму n(t) при скачке значения скорости.

4. Регулировочные характеристики замкнутой системы

Регулировочные характеристики настроенной замкнутой системы электропривода снимаются при фиксированном моменте статической нагрузки Мс = const.

Экспериментально снять следующие характеристики:

– частоты вращения АД n = f(fС);

– тока статора IС = f(fС);

– напряжение статора UС = f(fС);

Нагрузка задается двигателем постоянного тока.

В преобразователе частоты наблюдать следующие параметры:

4.02 – активный ток статора;

4.17 – ток намагничивания;

5.01 – частота задания

Напряжение статора UС, ток статора IС, ток нагрузки IЯ и частоту вращения n наблюдать на компьютере.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– тиристорный преобразователь перевести в режим регулирования момента (Приложение А);

– SA3 «Разрешение» модуля ПЧ перевести в верхнее положение;

– переключателем SA1 модуля ПЧ выбрать направление вращения;

– потенциометром RP1 задать выходую частоту 50 Гц;

– включить кнопку «Сеть» модуля ТП, SA6 «Разрешение» перевести в верхнее положение;

– переключателем SA5 модуля ТП выбрать направление вращения;

– потенциометром RP1 модуля ТП задать ток нагрузки 0,5…1А;

– изменяя потенциометром RP1 модуля ПЧ частоту задания, снять характеристики.

Данные опыта занести в таблицу 12.1.

Таблица 12.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Iя = | | | | | | | |
| Ic, А |  |  |  |  |  |  |  |
| Iа, А |  |  |  |  |  |  |  |
| Iμ, А |  |  |  |  |  |  |  |
| Uc, В |  |  |  |  |  |  |  |
| n, рад/с |  |  |  |  |  |  |  |

После проведения опыта убрать нагрузку, SA5 модуля ТП перевести в среднее положение, SA6 «Разрешение» – в нижнее положение. Снять частоту задания ПЧ, SA1 перевести в среднее положение, SA3 в нижнее положение.

5. Пуск электропривода в замкнутой системе

В настроенной системе электропривода снять осциллограммы пуска электропривода на холостом ходу до скорости, задаваемой преподавателем:

– тока статора IС=f(t);

– частоты вращения n=f(t).

Пуск электропривода удобнее создавать переключателем SА1 модуля ПЧ.

Опыт проводится в следующей последовательности:

– переключатель SA3 модуля ПЧ перевести в верхнее положение;

– переключателем SA1 модуля ПЧ выбрать направление вращения;

– потенциометром RP1 модуля ПЧ задать частоту вращения (указывается преподавателем);

– тумблер SA1 перевести в среднее положение;

– переведя тумблер SA1 в любое крайнее положение, осуществить пуск электропривода.

При обработке осциллограмм пуска электропривода определить и указать показатели процесса:

– максимальное значение тока статора при разгонеIСМ;

– время достижения максимума tМ;

– время переходного процесса разгона электропривода tПП.

Данные занести в таблицу 12.2.

Таблица 12.2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| IСМ | tМ | tПП |
| А | с | с |
|  |  |  |

6.  Механические характеристики замкнутой системы

Механические и электромеханические характеристики в настроенной системе электропривода снимаются как в двигательном, так и в рекуперативном режимах работы АД. При работе АД в двигательном режиме ДПТ включается на направление вращения встречно вращению АД, при работе АД в режиме рекуперативного торможения – согласно с вращением ДПТ. Характеристики снимаются при двух сигналах задания, величина которых задается преподавателем.

Экспериментально снять статические характеристики электропривода:

– механическую n = f(MС);

– электромеханическую n = f(IС);

– внешнюю UС = f(MС);

Опыт проводится в следующей последовательности:

– переключатель SA3 модуля ПЧ перевести в верхнее положение;

– переключателем SA1 модуля ПЧ выбрать направление вращения;

– потенциометром RP1 модуля ПЧ задать частоту вращения (указывается преподавателем);

– переключателем SA5 модуля ТП выбрать направление вращения;

– изменяя потенциометром RP1 модуля ТП задать ток нагрузки.

Данные опыта занести в таблицу 12.3.

– тумблером SA5 модуля ТП изменить направление вращения и повторить опыт.

Таблица 12.3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| МС, Н·м |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| n, об/мин |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| IЯ, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| UС, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| IC, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

После проведения опыта убрать нагрузку, SA5 модуля ТП перевести в среднее положение, SA6 «Разрешение» – в нижнее положение. Снять частоту задания ПЧ, SA1 перевести в среднее положение, SA3 в нижнее положение.

Расчетные данные.

Момент статический, Н·м

,

,

где UН – номинальное напряжение ДПТ (Приложение Б);

ω0 – синхронная частота вращения ДПТ (Приложение Б).

**Контрольные вопросы**

1. В чем разница разомкнутой и замкнутой вариантов реализации систем регулирования?

2. Что такое система подчиненного регулирования?

3. Какие контуры регулирования в настраиваемой системе регулирования существуют?

4. В каком порядке выполняется настройка замкнутой системы регулирования?

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**Тиристорный преобразователь**

Тиристорный преобразователь представляет собой однофазный двухкомплектный преобразователь с раздельный управлением комплектами.

Преобразователь служит для управления электродвигателем постоянного тока независимого возбуждения.

ТП содержит выходы управляемого преобразователя для питания обмотки якоря и выходы неуправляемого преобразователя =220В для питания обмотки возбуждения.

Внешний вид модуля приведен на рисунке А.1.



Рисунок А.1 – Внешний вид модуля "Тиристорный преобразователь"

На лицевую панель вынесены:

– кнопка «Сеть» подачи питания на ТП;

– переключатель SA1 служит для переключения индикации «напряжение, ток якоря, ток возбуждения»;

– тумблер SA2 – выбор режима регулирования «Скорость»/«Момент»;

– тумблер SA3 – выбор режима управления «Руч»/«Авт». В положение «Авт» управление осуществляется с внешнего входного сигнала, сигнал задается на клемму Х1, внутренние связи преобразователя не размыкаются;

– тумблер SA4 – выбор режима работы «П»/«НМ» В режиме «НМ» управление осуществляется с лицевой панели. В режиме «П» управление осуществляется от модуля регуляторов, сигнал задания задается на клемму Х1, при этом все внутренние обратные связи преобразователя размыкаются. Выбор режима работы отображается соответствующими светодиодами;

– тумблер SA5 осуществляет выбор направления вращения;

– тумблер SA6 «Разрешение» обеспечивает разрешение управления силовой частью;

– потенциометр RP1 обеспечивает уставку задания, в соответствии с положением тумблера SA2, по напряжению якоря или по моменту.

Модуль ТП имеет индикатор, на который выводятся значения его выходного напряжения, тока якоря и возбуждения.

Индикация режима работы преобразователя содержит 4 светодиода («Защита», «Работа», «Мост А» и «Мост В»).

При работе в режиме НМ (нагрузочная машина) преобразователь работает в двух основных режимах (рисунок А2):

– регулирование скорости;

– регулирование момента.

М

ω

ω

М

б)

а)

Рисунок А.2 – Механические характеристики ДПТ при работе ТП в режиме НМ:

а – при регулировании задания по скорости;

б – при регулировании задания по моменту.

В режиме регулирования скорости двигатель работает на горизонтальной механической характеристике, а в режиме регулирования по моменту – на вертикальной, при этом можно использовать двигатель как нагрузочное устройство для исследования асинхронной машины.

**Режим регулирования по скорости:**

Для работы преобразователя в режиме регулирования скорости необходимо:

– тумблер SA2 установить в положение «Скорость»;

– потенциометром RP1 производить регулирование скорости двигателя.

**Режим регулирования по моменту:**

Для работы преобразователя в режиме регулирования момента необходимо:

– тумблер SA2 установить в положение «Момент»;

– потенциометром RP1 регулировать момент, развиваемый двигателем.

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

**Паспортные и расчетные данные электрических машин**

Паспортные данные машины постоянного тока

Таблица Б.1

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Значение |
| Тип | ПЛ-072 |
| Мощность, Вт | 180 |
| Номинальное напряжение питания обмотки якоря, В | 220 |
| Номинальное напряжение питания обмотки возбуждения, В | 200 |
| Номинальная частота вращения, об/мин | 1500 |
| Номинальный ток якоря, А | 1,3 |
| к.п.д. | 0,63 |
| Масса, кг | 7,65 |
| Сопротивление обмотки якоря RЯ,20°C (расчетное значение), Ом | 17,5 |
| Сопротивление обмотки возбуждения RОВ,20°C (расчет. значение), Ом | 820 |
| Механические потери, Рмех ДПТ, Вт | 15 |

Паспортные и расчетные данные асинхронного двигателя с фазным/короткозамкнутым ротором

Таблица Б.2

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование параметра | Значение |
| Тип | AIS71ВУ3/АИР63В4УЗ |
| Мощность, Вт | 370 |
| Номинальное напряжение питания обмотки статора, В, Δ Y | 380 |
| Номинальная частота вращения, об/мин | 1370/1320 |
| Номинальный ток фазы статора, А | 1,18/1,37 |
| cos ϕ | 0,7 |
| Номинальный момент, Н⋅м | 1,4 |
| Активное сопротивление статора r1,27°C , Ом | 19 |
| Активное сопротивление ротора r2, 27°C , Ом | 25 |
| Механические потери, Рмех АД, Вт | 11 |

**Примечание**: Механические характеристики, как естественные, так и искусственные, желательно снимать при пониженном напряжении, а затем момент пересчитывать по формуле

UПОНИЖ, Л=220 В, М=МОПЫТ⋅(380/220)2≈ МОПЫТ⋅3.

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**

**Тарировочные кривые**

Зависимости СМ = f(ω) и IЯ0 = f(ω) машины постоянного тока ПЛ-072У3.

при *i*в =0,22 А

при *i*в =0,17 А

СМ, В⋅с

ω, 1/с

ω, 1/с

IЯ0, А

при *i*в =0,22 А

при *i*в =0,17 А

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**

**Описание работы программного обеспечения «LabDrive»**

В лабораторном комплексе используется плата аналогового ввода–вывода вместе с программным обеспечением «LabDrive» (модуль ввода/вывода). В составе стенда плата обеспечивает ввод до 6 аналоговых сигналов.Сигналы должны быть низковольтными 0...±10 В, для измерений силовых токов и напряжений используйте соответствующие датчики.

Для осциллографирования переходных процессов с лабораторном комплексе разработано программное обеспечение «LabDrive».

**Подготовка и снятие осциллограмм с помощью пакета «LabDrive»**

1. Включить персональный компьютер и дождаться загрузки «Windows».

2. Запустить программу «LabDrive». При этом на экране компьютера загрузится меню выбора работ (рисунок Г1).

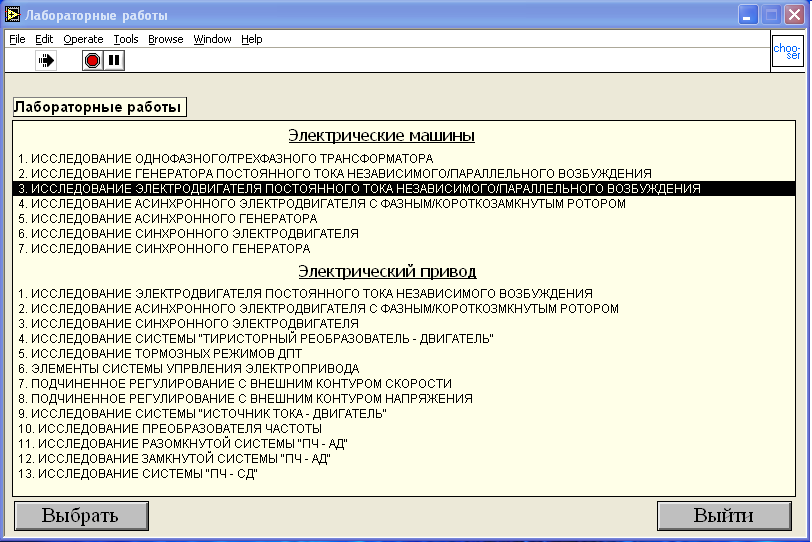


Рисунок Г1 – Примерный вид меню выбора лабораторных работ

3. Выбрать необходимую строку лабораторной работы и нажать клавишу «Выбрать». На экран загрузится окно лабораторной работы, например, при выборе работы «Исследование генератора постоянного тока независимого/параллельного возбуждения» появится изображение трех координатных сеток (рисунок Г2).

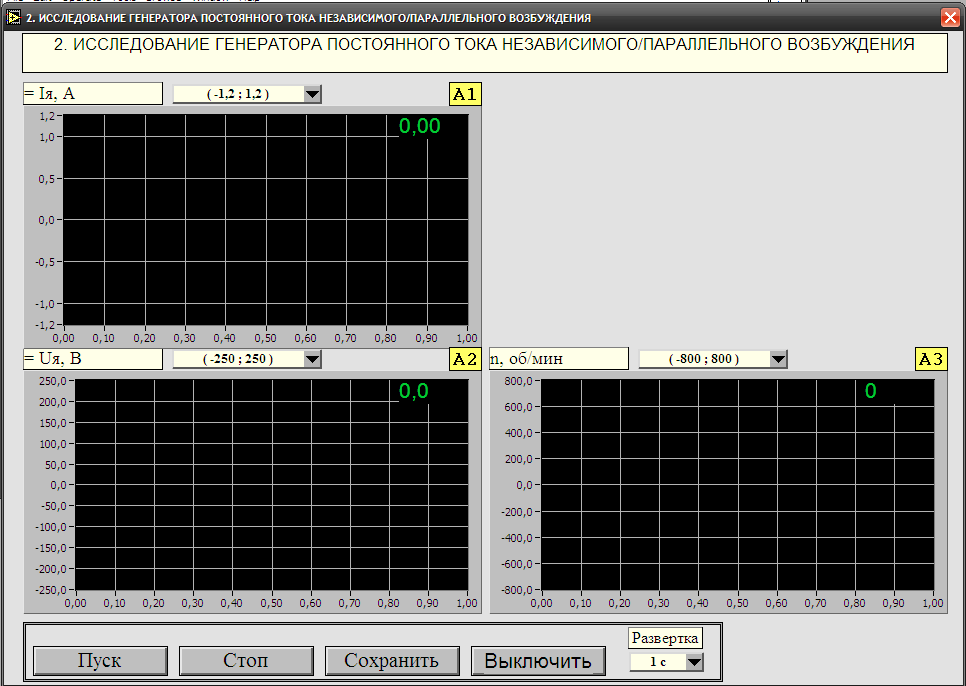


Рисунок Г2 – Окно лабораторной работы

## Окно лабораторной работы содержит:

а) название работы;

## б) три координатные сетки графиков, в данном случае ток якоря IЯ, напряжение на якоре двигателя постоянного тока UЯ и скорость вращения двигателя n. По оси абсцисс откладывается текущее время в секундах, по осям ординат соответствующие масштабы сигналов в вольтах, амперах и об/мин;

в) ручку выбора развертки по времени «Развертка», позволяющую выбрать время развертки от 0,1 до 10 секунд;

г) кнопки управления:

– «Пуск», запускает осциллографирование сигналов;

– «Стоп», останавливает осциллографирование;

– «Сохранить», записывает переходные процессы в файл.

– «Выключить», завершает лабораторную работу.

4. Нажать кнопку «Пуск». На экране появятся осциллограммы.

5. При нажатии кнопки «Стоп» осциллографирование приостанавливается.

6. Записать переходные процессы. Для этого нажимается клавиша «Сохранить» и вводится имя файла.

7. Нажатием клавиши «Выключить» завершить осциллографирование переходных процессов в данной работе, нажатием клавиши «Выйти» завершается действие программы.

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**

**Описание работы программного обеспечения «labshow»**

Программы «LabShow» позволяет построить осциллограммы из записанных файлов.

**Подготовка и снятие осциллограмм с помощью пакета «LabShow»**

Запустить программу «LabShow». При этом на экране компьютера загрузится окно программы (рисунок Д1).

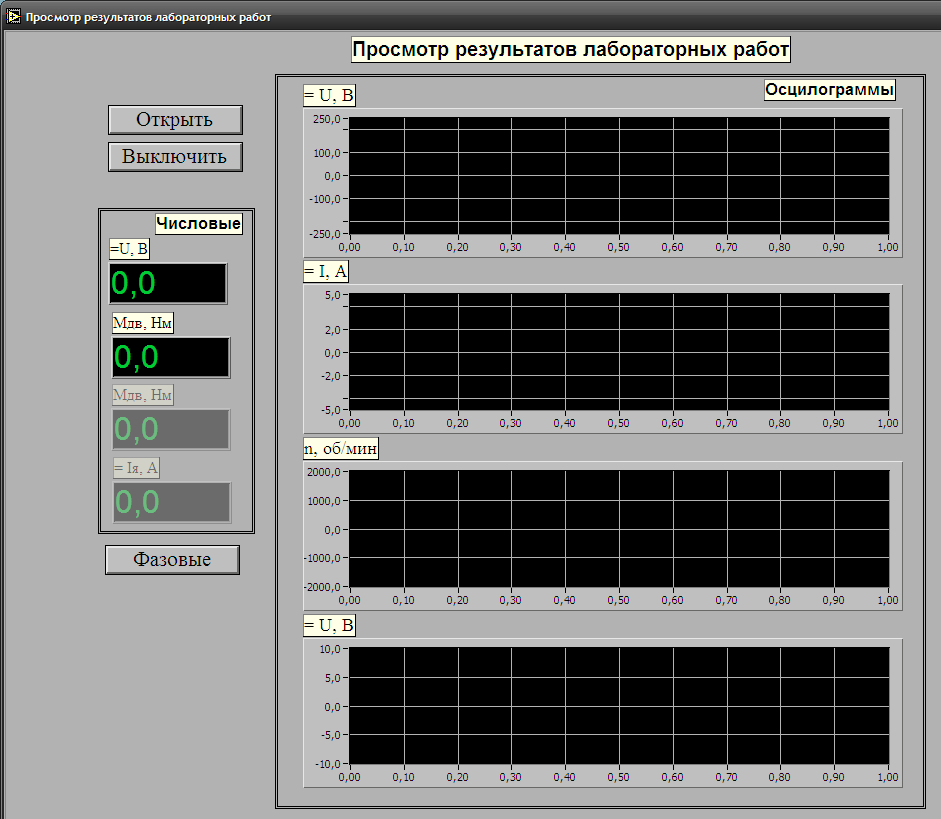


Рисунок Д1 – Окно программы «LabShow»

Кнопка «Открыть» позволяет загрузить данные из файла, кнопка «Выключить» завершает выполнение программы, кнопка «Фазовые» строит фазовые траектории для двух выбранных координат.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Поляков А. Е.Электрические машины, элетропривод и системы интеллектуального управления элетротех. комплексами/А.Е.Поляков, А.В.Чесноков, Е.М.Филимонова - М.: Форум,ИНФРА-М, 2015. - 224 с
2. ГОСТ 2.109-73 ЕСКД Основные требования к чертежам.
3. ГОСТ 21.613-88 Система проектной документации для строительства. Силовое электрооборудование. Рабочие чертежи.